



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOCIDA SOBRE *Achatina fulica* DE EXTRACTOS FERMENTADOS DE LOS GLICOALCALOIDES CONTENIDOS EN *Solanum sessiliflorum*”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:** RODNEY PATRICIO REINOSO ERAZO

**TUTORA:** DRA. JENNY MARINA MORENO MORA

Riobamba - Ecuador

2018

**© 2018, Rodney Patricio Reinoso Erazo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOCIDA SOBRE *Achatina fulica* DE EXTRACTOS FERMENTADOS DE LOS GLICOALCALOIDES CONTENIDOS EN *Solanum sessiliflorum*”**, de responsabilidad del señor egresado Rodney Patricio Reinoso Erazo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Jenny Marina Moreno Mora

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dra. Nelly Ivonne Guananga Díaz

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Rodney Patricio Reinoso Erazo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos del presente trabajo de titulación.

*Rodney Patricio Reinoso Erazo*

*C.I. 1400973952*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de Titulación se lo dedico a Dios por brindarme la vida y darme fuerza y sabiduría para salir adelante ante las adversidades que se me han presentado a lo largo de mi vida personal y académica.

A mis padres Milton Reinoso y Mónica Erazo por ser mi ejemplo de superación y por el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi carrera, quienes me ha enseñado los valores de responsabilidad y humildad, y ser el cimiento de mi vida, con su amor y apoyo valioso que ha hecho posible ser un hombre decidido con la fortaleza para poder llegar lejos.

A mis hermanos/as Katherine, Sofía, Isaac (+) y Milton (+), familiares, amigas y amigos; les dedico este trabajo con mucho aprecio.

A esa persona especial por todo su amor, paciencia, confianza y comprensión, por ser mi compañera, amiga, y soporte; quien siempre me motiva a vencer cada obstáculo y me apoya incondicionalmente.

Rodney

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su amor incondicional y su bendición para perseverar cada día, valorando cada instante y siendo feliz.

A mis padres, quienes diariamente se esfuerzan por darme lo necesario para salir adelante; no me alcanzaría la vida para devolverles todo lo que han hecho por mí, sus enseñanzas coherentes con sus acciones, hacen que me sienta orgulloso de tener una familia dispuesta a apoyarme en mis decisiones.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que me ha brindado oportunidades extraordinarias y me ha permitido encontrarme con amigos y colegas a quienes estimo mucho.

A la Dra. Jenny Moreno, Dra. Nelly Guananga, por sus valiosas orientaciones durante la realización del presente trabajo, y a la Técnica del Laboratorio de Química Orgánica; Dra. Patricia Layedra, por dar apertura para la utilización del Laboratorio para el desarrollo de la presente investigación.

Rodney

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>Ha</b>	Hectáreas/s
<b>m</b>	Metro/s
<b>cm</b>	Centímetro/s
<b>mm</b>	Milímetro/s
<b>Kg</b>	Kilogramo/s
<b>g</b>	Gramo/s
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>DL</b>	Dosis Letal
<b>mL</b>	Mililitro/s
<b>L</b>	Litro/s
<b>h</b>	Hora/s
<b>DCA</b>	Diseño completamente al Azar
<b>IR</b>	Infrarrojo
<b>%T</b>	Porcentaje de Transmitancia
<b>cm<sup>-1</sup></b>	Unidad de número de onda (Wavenumber)
<b>F</b>	Fisher
<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza (ANalysis Of VAriance)
<b>gl</b>	Grados de Libertad
<b>Sig.</b>	Significancia
<b>OMS / WHO</b>	Organización Mundial de la Salud

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO .....	8
1.1. Molusquicidas en el Mercado.....	8
1.1.1. <i>Metaldehído</i> .....	8
1.2. Sulfas .....	10
1.2.1. <i>Sulfonamidas</i> .....	11
1.3. Plaguicidas Naturales.....	12
1.3.1. <i>Bioinsecticidas a partir de extractos vegetales</i> .....	12
1.4. <i>Achatina fulica</i> .....	13
1.4.1. <i>Morfología</i> .....	13
1.4.2. <i>Taxonomía</i> .....	16
1.5. <i>Solanum sessiliflorum</i> .....	17
1.5.1. <i>Descripción botánica</i> .....	17
1.5.2. <i>Taxonomía</i> .....	18
1.6. <i>Solanum mammosum</i> .....	18
1.6.1. <i>Taxonomía</i> .....	19
1.7. Alcaloides .....	19
1.8. Glicoalcaloides .....	19
1.8.1. <i>Solanina</i> .....	20
1.9. Fermentación .....	22
1.10. Biodigestor casero .....	22
1.10.1. <i>Condiciones para la Biodigestión</i> .....	22
1.11. Espectrometría infrarroja (IR) .....	23
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	25
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	25
2.2. Metodología .....	25
2.2.1. <i>Obtención y manejo de Achatina fulica</i> .....	25
2.2.2. <i>Obtención de Solanum sessiliflorum</i> .....	26
2.2.3. <i>Selección del Método de aplicación del extracto</i> .....	26
2.2.4. <i>Selección de la aplicación de extractos de Solanum sessiliflorum</i> .....	26



2.2.5.	<i>Experimento</i> .....	27
2.2.6.	<i>Obtención de extractos</i> .....	28
2.2.7.	<i>Diseño experimental</i> .....	29
2.2.8.	<i>Población y muestra</i> .....	30
2.3.	<i>Análisis estadístico</i> .....	30
2.3.1.	<i>Test de ANOVA:</i> .....	30
2.3.2.	<i>Prueba de diferencias de Medias:</i> .....	30
2.4.	<i>Recursos Materiales</i> .....	31
2.4.1.	<i>Materia prima</i> .....	31
2.4.2.	<i>Equipos</i> .....	31
2.4.3.	<i>Materiales de Laboratorio</i> .....	31
2.4.4.	<i>Reactivos</i> .....	31

### CAPÍTULO III

3.	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	32
	<b>Análisis Químico y Organoléptico de los extractos</b> .....	32
3.1.	<b>Selección del Método de aplicación del extracto</b> .....	32
3.2.	<b>Resultados selección de la aplicación de extractos de <i>Solanum sessiliflorum</i></b> .	32
3.2.1.	<i>Extracto acuoso sin fermentación de <i>Solanum sessiliflorum</i></i> .....	33
3.2.2.	<i>Extracto fermentado de <i>S. sessiliflorum</i></i> .....	34
3.3.	<b>Resultado del poder biocida entre <i>S. sessiliflorum</i> y <i>S. mammosum</i></b> . ....	35
3.4.	<b>Resultados de la Actividad Biocida de los extractos aplicados</b> .....	36
3.4.1.	<i>Análisis Descriptivo muerte de <i>A. fulica</i> frente a extractos aplicados</i> .....	36
3.4.2.	<i>Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Muerte de <i>A. fulica</i></i> . ....	37
3.4.3.	<i>Análisis de Varianza de la actividad biocida de los extractos</i> . ....	38
3.4.4.	<i>Prueba de Tukey: Comparación entre tratamientos y mortalidad</i> .....	39
3.5.	<b>Espectroscopía de Infrarrojos</b> .....	40
3.5.1.	<i>Espectro IR del extracto de <i>S. sessiliflorum</i></i> .....	41
3.5.2.	<i>Espectro IR del extracto acuoso de <i>S. mammosum</i></i> .....	44
3.5.3.	<i>Espectro IR del extracto Mezcla (<i>S. sessiliflorum</i> + <i>S. mammosum</i>)</i> .....	46
3.5.4.	<i>Espectro IR de la baba de <i>A. fulica</i></i> .....	47
3.5.5.	<i>Espectro IR baba de <i>A. fulica</i> post aplicación de extracto <i>S. sessiliflorum</i></i> . ....	48
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	50
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	52

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Productos comerciales que contienen Metaldehído. ....	8
Tabla 2-1. Efectos secundarios de las Sulfonamidas en el organismo .....	12
Tabla 3-1: Taxonomía <i>Achatina fulica</i> .....	16
Tabla 4-1: Taxonomía <i>S. sessiliflorum</i> .....	18
Tabla 5-1: Taxonomía <i>Solanum mammosum</i> .....	19
Tabla 1-2. Tratamientos aplicados en la investigación. ....	29
Tabla 1-3: Análisis de los extractos de los frutos de <i>S. sessiliflorum</i> y <i>S. mammosum</i> . ....	32
Tabla 2-3. Porcentaje de Mortalidad de <i>A. fulica</i> . ....	35
Tabla 3-3. Resultados de los experimentos de laboratorio INIFAT. ....	35
Tabla 4-3. Análisis Descriptivo de Mortalidad. ....	37
Tabla 5-3. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	37
Tabla 6-3. ANOVA.....	38
Tabla 7-3. Prueba de Tukey al 5% .....	39
Tabla 8-3. Resultado del espectro IR del extracto de <i>S. sessiliflorum</i> . ....	41
Tabla 9-3. Resultado del espectro IR del extracto acuoso de <i>S. mammosum</i> . ....	44
Tabla 10-3. Resultado del espectro IR del extracto Mezcla ( <i>S. sessiliflorum</i> + <i>S. mammosum</i> ). ....	46
Tabla 11-3. Resultado del espectro IR de la baba de <i>A. fulica</i> . ....	47
Tabla 12-3. Resultado del espectro IR de la baba de <i>A. fulica</i> luego de aplicar el extracto de <i>S. sessiliflorum</i> . ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Estructura del Metaldehído.....	9
Figura 2-1. Mecanismos de sustitución de la Sulfanilamida. ....	10
Figura 3-1. Estructura de la Sulfonamida. ....	11
Figura 4-1. Morfología de <i>Achatina fulica</i> .....	14
Figura 5-1. Caparazón de <i>Achatina fulica</i> .....	14
Figura 6-1. Estructura molecular de $\alpha$ -solanina. ....	20
Figura 1-3: Transposición de Hofmann. ....	49

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-1: Huevos de <i>Achatina fulica</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>Fotografía 2-1: Fruto de <i>Solanum sessiliflorum</i> .....</b>	<b>17</b>
<b>Fotografía 3-1: Fruto de <i>S. mammosum</i> .....</b>	<b>18</b>
<b>Fotografía 1-3: Baba post aplicación de extractos. ....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Método de aplicación del extracto.....	26
Gráfico 2-2: Diagrama de selección de aplicación del extracto de <i>Solanum sessiliflorum</i> ..	27
Gráfico 3-2: Diagrama de Experimentación con extractos de las 2 solanáceas.....	28
Gráfico 4-3. Media de mortalidad aplicando <i>S. sessiliflorum</i> 100% y 10% y fermentado.	33
Gráfico 5-3. Mortalidad vs Tratamientos: a 24h y 72h. ....	40
Gráfico 6-3. Espectro FT-IR del extracto puro de <i>S. sessiliflorum</i> .....	41
Gráfico 7-3. Espectro IR del estándar de solanina pura 99% Sigma Aldrich.....	42
Gráfico 8-3. Espectro IR de la sulfanilamida. ....	43
Gráfico 9-3. Espectro FT-IR del extracto acuoso de <i>S. mammosum</i> .....	44
Gráfico 10-3. Espectro IR de la Saponina.....	45
Gráfico 11-3. Espectro FT-IR del extracto mezcla.....	46
Gráfico 12-3. Espectro FT-IR de la baba de <i>A. fulica</i> .....	47
Gráfico 13-3. Espectro FT-IR baba de <i>A. fulica</i> luego de aplicación del extracto de <i>S. sessiliflorum</i> .....	48

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A. PRUEBA DE TUKEY: COMPARACIONES MÚLTIPLES**

**ANEXO B. RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS DE LABORATORIO  
REALIZADOS POR EL INIFAT.**

**ANEXO C. ESTRUCTURAS DE ALGUNAS SULFONAMIDAS Y ÁCIDO PARA-  
AMINOBENZOICO.**

**ANEXO D. ESPECTRO IR DEL ÁCIDO PARA-AMINOBENZOICO**

**ANEXO E. BIODIGESTOR CASERO.**

**ANEXO F. MANEJO DE *A. fulica*.**

**ANEXO G. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL EXTRACTO DE *S. sessiliflorum*.**

**ANEXO H. MORTALIDAD DE *A. fulica* POST APLICACIÓN DE LOS EXTRACTOS.**

**ANEXO I. LÁTEX OBTENIDO DEL EXTRACTO DE *S. sessiliflorum*.**

## RESUMEN

El objetivo fue determinar la actividad biocida de extractos fermentados de glicoalcaloides de *Solanum sessiliflorum* frente a *Achatina fulica*. Para obtener este extracto se sometieron los frutos al sol por 3 días, luego se los cortó, exprimió y coló; a continuación, se fermentó en un biodigestor casero, su aplicación en *A. fulica* a concentraciones del 100% y 10% dio valores bajos de mortalidad (88,87% y 71,13% respectivamente). Considerando estos resultados, se procedió a un estudio comparativo del poder biocida entre las especies *Solanum sessiliflorum* y *Solanum mammosum*, para lo cual se ejecutó un Diseño experimental Completamente al Azar con 6 tratamientos (extractos al 100% y 10% v/v de *S. sessiliflorum*, *S. mammosum*, y su *Mezcla*) y 5 repeticiones en cada tratamiento, se monitoreó la mortalidad de *A. fulica* a las 24 y 72 h., además se incluyeron grupos control (sin aplicación de extractos). Mediante la prueba de Tukey al 5% se determinó el mejor tratamiento, donde los resultados demuestran que el extracto de *S. sessiliflorum* presenta mayor actividad molusquicida aún a una concentración al 10% v/v comparada con los demás tratamientos. Para la interpretación del poder biocida asignado a los extractos obtenidos se evaluaron los espectros IR de las muestras. La muestra *S. sessiliflorum* evidenció la vibración del enlace  $\text{—CH}_2\text{—N}$  a  $1375\text{ cm}^{-1}$  que representa la vibración más importante y característica de la solanina como glicoalcaloide, con lo que se puede identificar su presencia en la muestra y en *S. mammosum* se observa bandas que sugieren la presencia de saponina. Finalmente, en el espectro IR de la baba de *A. fulica* post aplicación de los extractos, se tiene bandas asignadas a grupos funcionales que se relacionarían con el proceso de Trasposición de Hofmann, el cual describiría la mortalidad del molusco mediante deshidratación como mecanismo de defensa ante el extracto aplicado.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <CONTROL BIOLÓGICO>, <BIOCIDA>, <MOLUSQUICIDA>, <EXTRACTOS ACUOSOS> <FERMENTACIÓN>, <GLICOALCALOIDES>, <CARACOL AFRICANO (*Achatina fulica*)>, <NARANJILLA JÍBARA (*Solanum sessiliflorum*)>.

## ABSTRACT

The objective was to determine the biocidal activity of fermented extracts of glycoalkaloid of *Solanum sessiliflorum* against *Achatina fulica*. To obtain this extract, the fruits were subjected to the sun for 3 days, then they were cut, squeezed and sneaked; thereafter, it was fermented in a homemade biodigester, its application in *A. fulica* at concentrations of 100% and 10% gave low values of mortality (88.87% and 71.13% respectively). Considering these results, a comparative study was made of the biocidal power between the *Solanum sessiliflorum* and *Solanum mammosum* species. For which a completely randomized experimental design was executed with 6 treatments (100% and 10% v / v extracts of *S. sessiliflorum*, *S. mammosum*, and its mixture) and 5 repetitions in each treatment, mortality of *A. fulica* was monitored at 24 and 72 h. In addition, control groups were included (without the application of extracts). By means of the Tukey test at 5%, the best treatment was determined, where the results show that the extract of *S. sessiliflorum* presents greater molluscicidal activity even at a concentration of 10% v / v compared with the other treatments. For the interpretation of the biocidal power assigned to the extracts obtained, the IR spectra of the samples were evaluated. The sample *S. sessiliflorum* showed the vibration of the bond  $\text{--CH}_2\text{--N}$  at  $1375\text{ cm}^{-1}$  which represents the most important and characteristic vibration of solanine as glycoalkaloid, in this way, its presence in the sample can be identified and in *S. mammosum* bands that suggest the presence of saponin are observed. Finally, in the IR spectrum of the slime of *A. fulica* post application of the extracts, there are bands assigned to functional groups, which would be related to the Hofmann Transposition process, which would describe mollusk mortality through dehydration as a defense mechanism against the applied extract.

**Keywords:** BIOTECHNOLOGY>, <BIOLOGICAL CONTROL, <BIOCIDE>, <MOLLUSCICIDE>, <AQUEOUS EXTRACTS>, <FERMENTATION>, <GLYCOALKALOIDS>, <AFRICAN SNAIL (*Achatina fulica*)>, <NARANJILLA JÍBARA (*Solanum Sessiliflorum*)>



## INTRODUCCIÓN

*Achatina fulica* o caracol gigante africano es originario de África oriental; ahora se sabe que existe en el este, oeste y centro de África. Desde 1900 se ha introducido a muchos países de Asia e islas del Pacífico Sur. (AGROCALIDAD, 2011)

Esta especie causa daños considerables a las plantas en los sistemas agrícolas tropicales y subtropicales, ataca a más de 100 especies (según estudios de Brasil) de plantas cultivables como algodón, bananos, hortalizas, frutos, frijoles además de plantas nativas como las Heliconias etc. (Correoso, 2006).

*Achatina fulica* es un vector de *Angiostrongylus cantonensis* (nemátodo) que causa la meningitis eosinofílica en seres humanos. La propagación de esta enfermedad se ha correlacionado con la propagación de *A. fulica* (USDA, APHIS, PPQ, 2007).

Por otro lado, los biocidas son compuestos que pueden extraerse de materias naturales como plantas, o microorganismos y su utilización, en lugar de los plaguicidas químicos, ayuda a proteger el ambiente.

De la especie *Solanum sessiliflorum*, se puede extraer glicoalcaloides, los mismos que presentan un gran poder bioplaguicida; estos compuestos químicos derivados de alcaloides, asociados a grupos de azúcar. Olortegui J., & Brañez M. 2009, citan: “los glicoalcaloides de *Solanum* tienen importante actividad toxicológica y citotóxica, presentan actividad antifúngica, son denominados metabolitos de estrés y se señalan propiedades antibacterianas contra diversos microorganismos gram positivos y gram negativos. (*E. coli*, *Salmonella entérica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* y *Aspergillus brasiliensis*)

### Situación Problemática

*Achatina fulica*, constituye una amenaza seria para cualquier ecosistema, dado que es un políforo, se traslada por cualquier superficie y absorbe todos los microorganismos que encuentra a su paso, los asimila y abandona con su baba, se conoce que puede desarrollar un período de estivación en épocas de máximo calor y menor humedad, situándose en un refugio, donde permanece con la parte abierta de la concha hacia el exterior del lugar elegido, elimina todo el contenido del tubo digestivo, se recoge en el interior de la concha y crea una capa mucilaginosa rica en calcio (epifragma) con la que tapa la abertura y se endurece con el aire para proteger al caracol y lo

impermeabiliza, consecuentemente aumenta su tiempo de vida y eficacia reproductiva. (AGROCALIDAD, 2011)

El *Achatina fulica* ha ampliado su área de distribución a través del trópico desde su región nativa en África, como consecuencia de procesos de introducción mediados por actividades humanas (Raut y Barker 2002, Martínez-Escarbassiere et al. 2008). Una de las infestaciones de *Achatina fulica* que ha causado mayor daño ecológico y que aún no ha sido del todo resuelta es la que ocurrió durante el año 2007 en el parque nacional Henri Pittier (Venezuela), provocando perjuicios en cultivos de bananos y afectando directamente a la flora del parque. (WEININGER, y otros, 2013)

Casos de personas muertas han sido reportados en Brasil, Perú y Ecuador. En el año 2012 en Colombia, el hospital San Andrés, reportó que un bebé de 15 meses había muerto por meningitis bacteriana tras tener contacto con un caracol gigante africano. Aunque el Ministerio de Ambiente expidió la resolución 654 de abril del 2011, para que Corporaciones Autónomas Regionales y Parques Nacionales controlen y prevengan la presencia de este caracol, y prohíban su cría en cautiverio, la invasión está lejos de ser controlada. (SILVA, 2013)

Actualmente, aún se desconoce procedimientos para combatir esta plaga, únicamente varios autores como Gavarano, 2013 y la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD), proponen la aplicación de metaldehído líquido para su control (5 L/Ha). Siendo así que, en el mercado, se encuentran escasos productos poco conocidos para combatir moluscos, entre ellos FERRAMOL® Antilímacos y TOXIMOL MOLUSQUICIDA, los cuales llevan también en su composición al metaldehído.

En Ecuador, de acuerdo a BBC Mundo el director del área de Parasitología del Instituto Nacional de Higiene, Luigi Martini, el *Achatina fulica* ha sido detectado en 12 de las 24 provincias, este molusco es vector de *Angiostrongylus cantonensis* causante de la meningitis eosinofílica en seres humanos, y cerca de un centenar de casos de esta meningitis han sido reportados en el país desde 2008, registrándose por esta causa la muerte de tres personas, e incluso ha llegado a las Islas Galápagos, donde se desarrolla un amplio plan de erradicación del molusco. Las autoridades creen que el caracol africano fue introducido a Ecuador y otros países del continente por comerciantes que buscaban emprender un negocio de productos cosméticos basados en la baba de caracol, mientras otras personas los mantenían como mascotas. (MENA, 2012).

Es necesario evaluar una alternativa biotecnológica para su control tendiente a resolver la problemática en cuanto al daño potencial que puede desencadenar la *Achatina fulica*. (AGROCALIDAD, 2011)

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente en Ecuador, la *Achatina fulica* destruye plantaciones como del cacao, café y maíz, y lleva algunos años afectando los toquillales que están en las montañas de la comuna Pile (Montecristi, Manabí), precisamente donde se elaboran los sombreros más finos considerados por la Unesco como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. (PALMA, 2017).

Esta plaga es una de las mayores amenazas en diferentes ámbitos: en la agricultura, ataca diferentes cultivos afectando la economía, en el ambiente ya que pone en peligro la diversidad biológica nativa, para la salud por ser vector de enfermedades humanas. Su exponencial capacidad reproductiva, su gran tamaño y las condiciones favorables que el Ecuador brinda al molusco fortalecen su capacidad destructora.

*Solanum sessiliflorum* al ser una solanácea, se sabe que, tanto las hojas como los frutos (sobre todo los inmaduros) contienen glicoalcaloides (o alcaloides glicosílicos) en especial los esteroides alpha solanina y alpha chaconina con importancia toxicológica probada (OLORTEGUI, y otros, 2009), los cuales han demostrado, poseer efectos bioplaguicidas.

La presente investigación constituye una alternativa biotecnológica para el control de *Achatina fulica*, empleando el poder biocida contenido en los extractos de la planta *Solanum sessiliflorum*; destinada a resolver, a un costo considerablemente menor, el grave daño que ocasiona la presencia de este molusco en diferentes cultivos, tendiendo a disminuir simultáneamente el uso de plaguicidas químicos y el grave impacto que éstos causan al ambiente.

## ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A causa de las implicaciones económicas y sanitarias que genera la presencia del caracol gigante africano en un territorio, han sido implementadas diversas técnicas de control entre las que se encuentran la remoción manual y el uso de sustancias químicas tanto de origen natural, como comercial con el propósito de controlar el tamaño de sus poblaciones. Sin embargo, estas técnicas presentan grandes limitaciones y su implementación generalmente es costosa.

Por otra parte, muchas sustancias comerciales presentan baja mortalidad, debido a que no pueden ser esparcidas de una forma óptima o no afectan efectivamente algunos estados de desarrollo de esta especie (Albuquerque et al. 2008). Además, la implementación de algunos molusquicidas o la introducción de especies controladoras pueden afectar negativamente a otras especies o alterar algunos procesos ecológicos como la herbivoría y el flujo energético (Bhattacharyya et al. 2015).

En Ecuador, en 2005 se tuvo el primer reporte del Instituto de Higiene sobre este tipo de caracol, época en que se puso en boga la cría de caracoles por el efecto cosmético de su baba (ELUNIVERSO, 2012); siendo así que, en 2012 las autoridades gubernamentales buscaron asesoría internacional para enfrentar la invasión, anunciando el envío de técnicos hacia otros países en pos de soluciones frente a la devastación de sembríos (MENA, 2012); sin embargo, actualmente se desconocen los resultados obtenidos.

Así también, AGROCALIDAD (2012); inició contactos con expertos de Estados Unidos, la República de Fiji, y Filipinas. De esta manera, Andrés Donoso, técnico de AGROCALIDAD, informó a BBC Mundo, que no pueden "hablar de erradicación del caracol debido a la exponencial forma de reproducción que presenta". Y recalcó que "la estrategia en contra de los caracoles está enfocada al control y disminución de poblaciones". (MENA, 2012)

Se conoce que diversas plantas de la familia de las solanáceas, especialmente las del género *Solanum*, son conocidas como fuentes de sustancias estructuralmente muy relacionadas con las saponinas esteroideas, llamados glicoalcaloides. (Sustancias alternativas para el control del caracol africano (*Achatina fulica*) en el Valle del Cauca, Colombia, 2016).

SOLASOL es una marca de un bioplaguicida, el cual ha estado implementando el uso de una solanácea como es el fruto de *Solanum globiferum* (güirito espinoso), para el control de moluscos; tal como se detalla en la revista Agrotecnia de Cuba, donde se verifica además que el uso de este molusquicida botánico no produce contaminación en los cultivos ni es dañino al hombre ni a los animales. (Molusquicidas naturales de origen botánico, 2008)

Respecto a estudios sobre el control del caracol en cultivos se han encontrado:

### **CONTROL MECÁNICO:**

Noé (Sf) explica que se realiza la separación y eliminación de los caracoles y partes contaminadas en la planta, así como la implementación de cercos protectores.

Rap-al (2005) señala que es factible aplicar una franja de arena o cascarón de huevo triturado entorno al cultivo con una amplitud similar al ancho de la mano. También se puede espolvorear moderadamente ceniza de madera encima y rodeando las plantas perturbadas.

Autores como Baglione (2011) señalan la implementación de tierra de diatomeas como opción para el control de moluscos, ya que ha sido utilizado en la erradicación de algunas plagas en cultivos como el arroz, caña de azúcar, papa y fresa. Adicionalmente, con este elemento se aporta con minerales y oligoelementos al suelo. (García, G. 2014)

### **CONTROL FÍSICO:**

Noé (Sf) sugiere aplicar este método en ambientes cerrados, dada su implicación de agente físicos al ambiente ya que no provocarían únicamente la muerte de la plaga.

Berg (Sf) señala como el procedimiento más seguro para controlar la proliferación de *Achatina fulica* ya que implica su rastreo, separación y destrucción inmediata; sin embargo, esta práctica no es muy utilizada.

### **CONTROL CULTURAL:**

Este método implica diferentes estrategias como las labores agrarias habituales enfocadas hacia la destrucción del hábitat de las plagas, otorgándoles condiciones inapropiadas para su permanencia. O' Farrill y Medina (2007) indica que lo ideal sería que el terreno quede totalmente limpio respecto a malezas y escombros.

## **CONTROL BIOLÓGICO:**

Entre los predadores más comunes se encuentran los anfibios, reptiles y aves de corral lo cual resulta conveniente permitirles su estancia en el lugar para combatir plagas como los moluscos en este caso. (García, G. 2014)

Autores como Rap-al (2005) indica utilizar los moluscos recolectados en un recipiente plástico con agua, añadir ramas de ortiga, macerar por 3 días, remover diariamente, colar y asperjar como repelente para caracoles.

Actualmente existe un amplio número de especies vegetales de los cuales se puede estudiar su poder repelente y/o biocida para moluscos. Entre las plantas que evitan los caracoles se puede mencionar al género de solanáceas (tomate) y helechos. Rap-al (2005).

## **CONTROL QUÍMICO**

Entre los compuestos químicos empleados en los cultivos para el control de moluscos destacan: el metaldehído y sus formulaciones como la mejor defensa contra caracoles, el cobre (como principio activo sobresaliente), soluciones de silicato de sodio y trampas a base de arseniato de calcio y agua de cal. (García, G. 2014)

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Evaluar la actividad biocida sobre *Achatina fulica* de extractos fermentados de los glicoalcaloides contenidos en *Solanum sessiliflorum*.

### **ESPECÍFICOS**

- Obtener y fermentar el extracto de glicoalcaloides a partir de *Solanum sessiliflorum*.
- Definir la metodología de aplicación del extracto bioplaguicida.
- Aplicar el extracto fermentado de glicoalcaloides a *Achatina fulica*.
- Evaluar el efecto plaguicida del extracto fermentado de glicoalcaloides de *Solanum sessiliflorum* sobre *Achatina fulica*.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Molusquicidas en el Mercado

#### 1.1.1. Metaldehído

Es el único producto específico selectivo para el control de babosas y caracoles sobre el cual se formulan los molusquicidas actuales.

**Tabla 1-1.** Productos comerciales que contienen Metaldehído.

INGREDIENTE ACTIVO: Metaldehído	
<b>Nombres comerciales:</b>	Agrocom B, Atacol, Babotox, Biodehído, Caracolicida, Clartex, Deadline Minipellet, Formucida, Gastotrox, K-Matababosa, Metaldehído, Molux, River Antilimacos Grano, Tolosan.
<b>Fórmula:</b>	$C_8H_{16}O_4$ .
<b>Acción biocida:</b>	Molusquicida
<b>Modo de acción:</b>	Contacto y estomacal.
<b>Usos:</b>	Control de babosas y caracoles en café, frijol, maíz, melón, pepino, sandía, tomate, ornamentales y otros.
<b>Formulación:</b>	Cebo troceado, granulado, cebo en gránulos.

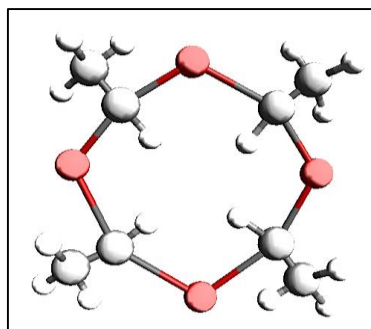
**Fuente:** Jaime Maza, 2013, p. 46.

**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018.

La mayoría de estos productos comerciales contienen al menos 3,5% de metaldehído y vienen en muchas formas: líquido (ej. AGROL-A SC), gránulos (ej. METAREX M®) y polvo (ej. BABOSIL GR).

El Metaldehído es un tetrámero cíclico de acetaldehído, insoluble en agua, clasificado como pesticida de riesgo moderado y no carcinógeno por la Organización Mundial de la Salud. Es altamente tóxico por inhalación, moderado por ingestión y leve por absorción dérmica. (OMS, Sf.)





**Figura 1-1. Estructura del Metaldehído**

**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018

Este compuesto interrumpe la producción de baba en los caracoles y babosas, debilitando su digestión y movilidad, seguida de una deshidratación. Aquellos moluscos que lo ingieren frecuentemente se esconden y mueren al cabo de pocos días.

El cebo posee una alta palatabilidad, dado a que, para atraer a la plaga el metaldehído se combina con salvado y melaza, lo que hace atractiva principalmente para perros y gatos, aunque también se han reportado casos de intoxicaciones en equinos y rumiantes, además de actividad insecticida en ortópteros y dermápteros. La Dosis Letal ( $DL_{50}$ ) de metaldehído para los perros es de 100 mg/Kg y para gatos de 50 mg/Kg. (Pérez, B., et al. 2004)

### **Intoxicación por Metaldehído:**

Los primeros síntomas de intoxicación por ingesta de este compuesto aparecen comúnmente entre los 15 – 20 minutos. Se pueden presentar fasciculaciones (pequeñas e involuntarias contracciones musculares), taquicardia (velocidad excesiva del ritmo de los latidos del corazón) y jadeo (respiración fatigosa). (Crespo, M. et al. 2013)

Al agravarse la intoxicación, el individuo puede sufrir ataxia (pérdida de coordinación) con rigidez en las extremidades, excesiva salivación, acidosis metabólica (afección en la cual hay demasiado ácido en los líquidos corporales), convulsiones, midriasis (dilatación anormal de la pupila del ojo), seguida de una intensa depresión, coma y finalmente la muerte (entre 4 y 24 h y se debe a una parálisis respiratoria). (Crespo, M. et al. 2013)

Se cree que en el estómago el metaldehído se degrada a acetaldehído y otros aldehídos que se eliminan por exhalación y orina; por ende, se evidencia un olor a formaldehído en el contenido gástrico de los animales intoxicados. (Crespo, M. et al. 2013)

## Tratamiento ante intoxicación por metaldehído

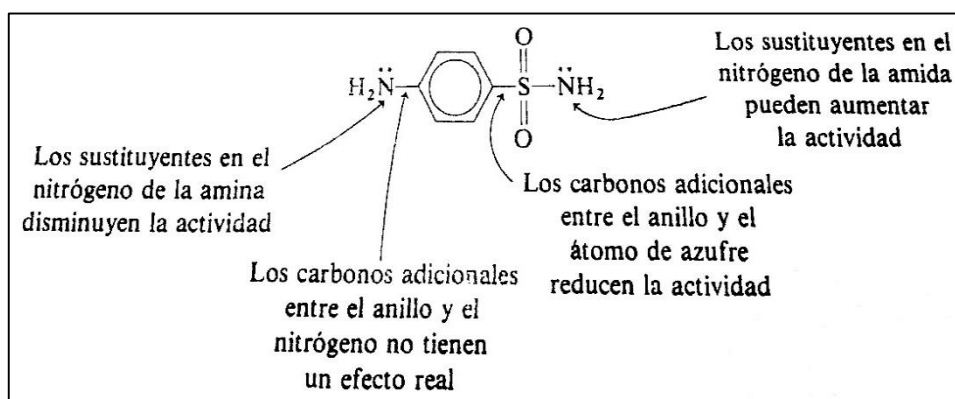
El tratamiento se basa en controlar los signos vitales del individuo hasta que se elimine la toxina del organismo, dado a que no existe un antídoto para el envenenamiento por metaldehído. (Parot, F. 2012)

Ante una ingestión reciente del compuesto, se puede inducir al vómito utilizando fármacos como el peróxido de hidrógeno o apomorfina, aunque no siempre es recomendado provocar el vómito porque se podría desencadenar convulsiones. (Parot, F. 2012)

Si el paciente presenta temblores musculares y/o convulsiones, deberá ser anestesiado para un posterior lavado gástrico. Para la descontaminación se sugiere la administración de carbón activado con un purgante osmótico (sorbitol o sulfato de sodio), para reducir la absorción de la toxina en el tracto gastrointestinal. (Parot, F. 2012)

## 1.2. Sulfas

Son una clase de antimicrobianos derivados de la sulfanilamida. Estas destruyen o inhiben la actividad de un microorganismo parásito, como un hongo o bacteria u otra subclase, los antibióticos comunes incluyen las tetraciclinas, penicilinas, cefalosporinas y antibióticos macrólidos (Wingrove y Caret, 2011, p. 1320-1321).



**Figura 2-1. Mecanismos de sustitución de la Sulfanilamida.**

Realizado por: Alan S. Wingrove & Robert L. Caret, 2011, p.1321.

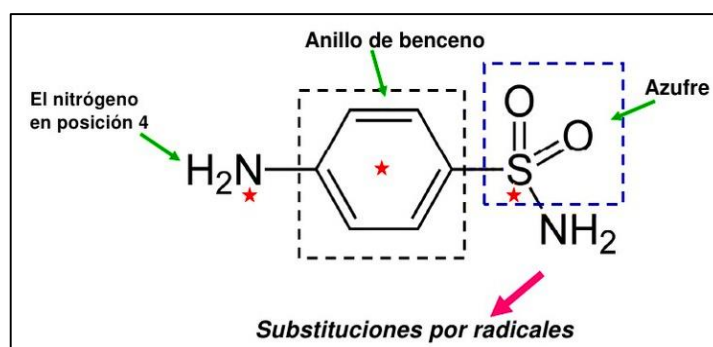
“La sulfanilamida destruye los microorganismos al actuar como antagonista; esto es, sustituye a una de las sustancias químicas requeridas para el desarrollo normal y el metabolismo de los microorganismos, produciendo así un cortocircuito en su desarrollo”. (Wingrove y Caret, 2011, p.1321).

### 1.2.1. Sulfonamidas

Son sustancias químicas cuya composición comprende: el azufre, oxígeno y nitrógeno, y de ellas derivan las Sulfamidas. Fueron descubiertas en la década de 1930; siendo los primeros agentes antibacterianos eficaces empleados en el tratamiento de las infecciones en el hombre. (Wikipedia, 2018)

Poseen actividad (actúan mediante la inhibición de la síntesis de los ácidos nucleicos) frente a una gran variedad de microorganismos gram positivos, gram negativos y algunos protozoos. Entre ellos se tienen: cepas de estreptococos, estafilococos y neumococos, *Actinomyces spp.*, *Nocardia spp.*, *B. anthracis* y *Corynebacterium diptheriae*, numerosas especies de enterobacterias, *Neisseria spp.* y patógenos respiratorios como *H. influenzae*, *Bordetella pertussis* o *L. pneumophila*. También *Yersinia pestis*, *Brucella spp.* y algunos microorganismos involucrados en infecciones de transmisión sexual como *C. trachomatis*, *Haemophilus ducreyi* y *Calymmatobacterium granulomatis*. (TRALLERO, 2009)

Su estructura es similar al ácido para-aminobenzoico (ver ANEXO C), siendo así que compiten con él por la enzima dihidropteroato sintetasa que es un factor requerido para la síntesis del ácido fólico. (TRALLERO, 2009)



**Figura 3-1. Estructura de la Sulfonamida.**

Realizado por: Jarconetti, 2011.

De acuerdo a ECURED (2018), las Sulfonamidas se clasifican en 4 grupos de acuerdo a su velocidad de absorción y excreción:

- De rápida absorción y excreción: Ej. sulfisoxazole y sulfadiazina.
- De muy escasa absorción al administrar por vía oral, resultando activos sólo en la luz intestinal. Ej. sulfasalazine.
- Empleadas para uso tópico: Ej. sulfacetamida, mafenida y sulfadiazina de plata.

- De acción prolongada, rápida absorción y muy lenta excreción: Ej. sulfadoxine.

**Tabla 2-1.** Efectos secundarios de las Sulfonamidas en el organismo

<b>PARTES DEL ORGANISMO</b>	<b>EFFECTOS SECUNDARIOS</b>
<b>Sistema Nervioso Central</b>	Cefalea, depresión, convulsiones, alucinaciones.
<b>Gastrointestinal</b>	Náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, estomatitis.
<b>Renales</b>	Las sulfas (especialmente las de mayor antigüedad) pueden cristalizar en la orina.
<b>Hematológicos</b>	Agranulocitosis, anemia.
<b>Hepáticos</b>	Aumento de enzimas hepáticas, ictericia.
<b>Piel</b>	Erupción y enrojecimiento de la piel, necrosis.

Fuente: Dr. Núñez, B. Sf. (Sulfonamidas, pp. 37-40)

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

### 1.3. Plaguicidas Naturales

A partir de la necesidad de nuevas alternativas naturales para el control de plagas y reemplazar así los pesticidas sintéticos aparecen los pesticidas botánicos brindando seguridad para el ambiente y una eficiente iniciativa agronómica. (Maggi, M. 2004)

#### 1.3.1. Bioinsecticidas a partir de extractos vegetales

En general, las plantas producen alrededor de 100.000 sustancias de bajo peso molecular conocidas como metabolitos secundarios, los cuales en su mayoría son no esenciales para el proceso metabólico básico de la planta. Entre ellos se encuentran alcaloides, terpenos, lignanos, azúcares, esteroides, ácidos grasos, etc. (Abril, A. & Calle, J. 2012)

Estas diversidades de sustancias químicas producidas naturalmente por las plantas han llevado a la selección de especies con mejores defensas contra el ataque de plagas. Para ello, la planta a seleccionar debe ser de fácil cultivo y con principios activos potentes, con alta estabilidad química y de óptima producción. (Abril, A. & Calle, J. 2012)

En la actualidad se aplican diferentes extractos vegetales, a continuación, se resumen algunos de ellos descritos por la Promoción del Desarrollo Sostenible (IPES), en coordinación con la FAO, y la Fundación RUAF en su libro “Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana”:

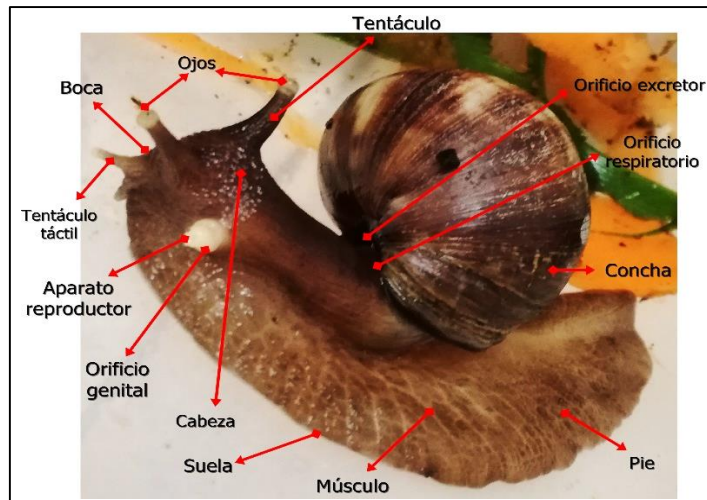
- Extracto de Manzanilla (*Matricaria chamomilla*): que protege a las plantas de hongos e insectos chupadores.
- Extracto de marco (*Ambrosia arborescens*) o chocho (*Lupinus mutabilis*): empleados como repele para la mosca blanca, áfidos y pulguilla en cultivos de huerta.
- Extracto de caléndula (*Calendula officinalis*): usado como repelente y para control de gusanos en el tomate.
- Extracto alcohólico de ajo y ají: actúa como insecticida contra áfidos, arañas, mosca blanca y minador (*Phyllocnistis citrella*) en hortalizas, flores y banano.
- Extracto acuoso de raíces y corteza de barbasco (*Lonchocarpus utilis*): Insecticida contra áfidos, arañas, mosca blanca, minador y mariposas en fresas y plantas ornamentales.
- Extracto fermentado de tabaco (*Nicotiana tabacum*): usado como insecticida y repelente de adultos de mosca blanca en tomate.

#### **1.4. *Achatina fulica***

*Achatina fulica* se la encuentra comúnmente en jardines y zonas con cultivos, alimentándose principalmente de partes tiernas de las plantas, frutos y toda clase de desechos orgánicos, así como de abonos y materia en descomposición.

##### **1.4.1. *Morfología***

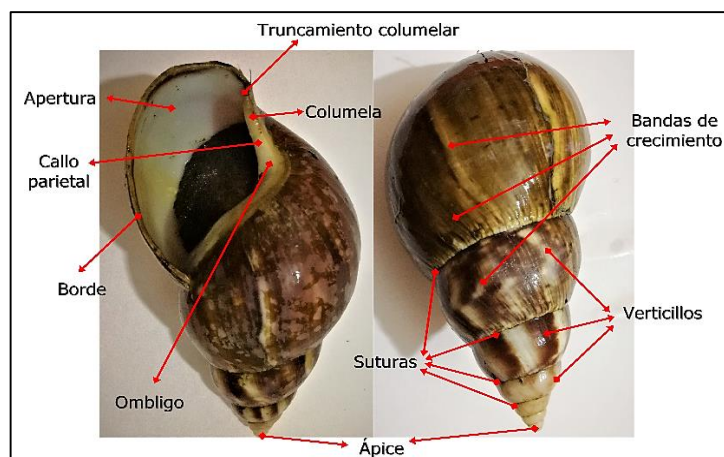
Es un gasterópodo invertebrado de sangre fría formado por dos partes: la concha y el cuerpo. El cuerpo es de color negro pardusco moderado, con piel húmeda semejante al caucho. (AGROCALIDAD, 2011)



**Figura 4-1. Morfología de *Achatina fulica***  
 Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

### Concha:

En estado juvenil *A. fulica* posee una concha más delgada y traslúcida, lo que la hace sumamente frágil, pero conforme alcanza su adultez la concha es más gruesa y opaca (rica en calcio). Puede llegar hasta 8 pulgadas (20,32 cm) de largo y casi 5 pulgadas (12,7 cm) de diámetro máximo. Posee un color marrón rojizo con rayas verticales de tono ligeramente amarillas o café claro; variando debido a las condiciones climáticas y su alimentación. La columela es blanca o blanco-azulada al igual que los callos parietales. (AGROCALIDAD, 2011)



**Figura 5-1. Caparazón de *Achatina fulica***  
 Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

### **Capa cutánea:**

Contiene las glándulas que segregan un moco, comúnmente llamado “baba”, que tiene funciones lubricantes protectoras y de poder hidrófilo. Esta baba brillante que segrega su cuerpo facilita el movimiento y sirve para detectar su presencia. (LIBORIA, M. et.al., 2009)

### **Órganos oculares:**

Poseen una función foto receptora con bajo poder visual, únicamente diferencian la luz de la oscuridad y objetos de poca coloración a una distancia aproximada de 2 a 6 mm. Además, carecen de sensibilidad auditiva y equilibrio. (Méndez, A. Sf)

### **Huevos:**

Son de color blanco-amarillento a amarillo, de forma ovalada. A partir de los 5 a 6 meses, producen desde 10 hasta más de 400 huevos, y los ovipositan de 8 a 20 días después del apareamiento. En condiciones óptimas, pueden poner de 300 a 1000 huevos de 3 a 4 veces cada año. Depositán sus huevos en el suelo frío y húmedo, y debajo de objetos; y éstos maduran al ponerse en contacto con un poco de humedad. (AGROCALIDAD, 2011)



**Fotografía 1-1: Huevos de *Achatina fulica***

**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018

Su promedio de vida es de 3 a 5 años, pero hay individuos que pueden llegar a la edad de 9 años (generalmente en cautiverio). Alcanzan la madurez sexual en menos de un año, los adultos tienen ambos órganos sexuales (hermafroditas), pero la cópula recíproca es necesaria para producir huevos viables. (AGROCALIDAD, 2011)

Por las características climáticas indicadas, Ecuador es un país ideal para la reproducción de *Achatina fulica*, ya que se mantiene activo en un rango de temperatura de 9°C a 29°C, y sobrevive

a temperaturas de 2°C por la hibernación (países con bajas temperaturas invernales) y 30°C por estivación (ISSG, 2010).

Según AGROCALIDAD (2011), el ritmo biológico de *A. fulica* se resume en las 3 fases que puede desarrollar:

- **Vida activa.** Cuando existe temperatura y humedad adecuada y posee suficiente alimento.
- **Fase de estivación o estado letárgico leve.** Cuando el calor es intenso y existen períodos secos. El caracol busca refugio (bajo piedras, grietas, árboles). Puede durar 4 meses, en los cuales el caracol disminuye y/o paraliza su metabolismo, elimina el contenido de su tubo digestivo, se recoge al interior de su concha y crea el epifragma (capa mucilaginosa rica en calcio que tapa la abertura, se endurece y permeabiliza para proteger al caracol)
- **Hibernación.** Ocurre cuando existen bajas temperaturas y es más duradero que el período de estivación. Cuando las condiciones ambientales de temperatura y humedad se tornan favorables para el caracol, rompen el epifragma y/o salen de su letargo y comienzan a alimentarse vorazmente.

#### 1.4.2. Taxonomía

En la escala zoológica la ubicación taxonómica de este molusco es:

**Tabla 3-1:** Taxonomía *Achatina fulica*

<b>Reino:</b>	<i>Animalia</i>
<b>Filo:</b>	<i>Mollusca</i>
<b>Clase:</b>	<i>Gasterópoda</i>
<b>Subclase:</b>	<i>Pulmonada</i>
<b>Orden:</b>	<i>Stylommatophora</i>
<b>Suborden:</b>	<i>Sigmurethra</i>
<b>Superfamilia:</b>	<i>Achatinoidea</i>
<b>Familia:</b>	<i>Achatinidae</i>
<b>Género:</b>	<i>Achatina</i>
<b>Especie:</b>	<i>fulica</i>
<b>*Sinonimia:</b>	<i>Lissachatina fulica</i>

Fuente: (Tomado de Fernández, 2007)  
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

L.



### 1.5. *Solanum sessiliflorum*

Es una planta silvestre llamada también naranjilla jíbara, es una especie fanerógama originaria de Sudamérica tropical y perteneciente a la familia Solanaceae. Se propaga rápidamente, ya que se reproduce tanto en forma sexual (semillas) como asexual (estacas, injertos). (Pilco, R. 2015, pp.5)



**Fotografía 2-1: Fruto de *Solanum sessiliflorum***  
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

#### 1.5.1. Descripción botánica

Es una planta de crecimiento rápido, al principio herbácea y luego semileñosa. Mide de 80 cm a 3 m de altura.

Los tallos son cilíndricos con pubescencia dura y grisácea, ramifica desde cerca del suelo, tiene ramas robustas y espinosas, con hojas simples, alternas, de margen ondeado o serradas con cara superior cubierta de pelusa dura y blancuzca. (Pilco, R. 2015)

Los frutos son esféricos, de color verde, con 4 a 7 cm de ancho y 3 a 6 cm de largo. La cáscara rodea la pulpa o mesocarpio que es gruesa, de color blanca-verdosa. Posee un peso promedio de 46,5 g, del mismo que se obtiene alrededor de 7 mL de extracto blanquecino, el cual se oxida rápidamente. (Pilco, R. 2015)

Requiere de temperaturas medias entre 18 y 30 °C, sin presencia de heladas, y precipitación pluvial entre 1.500 y 4.500 mm/año. Se beneficia de una sombra ligera durante sus primeros estados de desarrollo. Crece en diferentes tipos de suelos, con preferencia en suelos con contenido de arena y hojarasca. (Pilco, R. 2015)

### 1.5.2. Taxonomía

**Tabla 4-1:** Taxonomía *S. sessiliflorum*

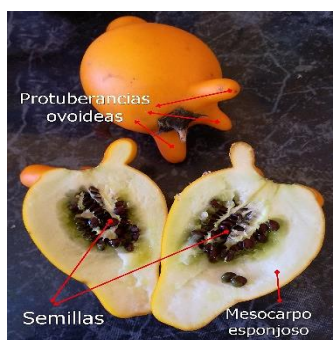
<b>Reino:</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino:</b>	<i>Tracheophyta</i>
<b>Filo:</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Solanales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Solamaceae</i>
<b>Subfamilia</b>	<i>Solanoideae</i>
<b>Género:</b>	<i>Solanum</i>
<b>Subgénero:</b>	<i>Leptostemonum</i>
<b>Especie:</b>	<i>S. sessiliflorum</i>

Fuente: (Tomado de Naturalista, s.f.)

Elaborado por: Rodney Reinoso, 2018

### 1.6. *Solanum mammosum*

Conocido popularmente como ubre o teta de vaca. Es un fruto de larga duración, que inicialmente posee un color verde, tornándose amarillo-anaranjado brillante al madurar. Ampliamente cultivado en climas tropicales principalmente para fines decorativos, adaptándose a una amplia variedad de suelos. (BARRIONUEVO, Sf)



**Fotografía 3-1:** Fruto de *S. mammosum*

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

Por su toxicidad se la ha empleado antiguamente como insecticida y para capturar (aturdir) peces, y además el fruto posee poder detergente leve. (BARRIONUEVO, Sf)

A pesar de su venenosidad, se le atribuyen virtudes medicinales como: efectividad para tratar la sinusitis y tos ferina, empleado externamente en la piel para curar ulceraciones, quemaduras y llagas, para el tratamiento del pie de atleta, y también es usada como relajante y para tratar irritabilidad. (BARRIONUEVO, Sf)

La planta posee varios compuestos bioactivos, principalmente alcaloides y saponinas. En particular los frutos contienen glicoalcaloides como la solasonina y solamargina (derivados de la solasodina), siendo todas sustancias tóxicas. (BARRIONUEVO, Sf)

### 1.6.1. Taxonomía

**Tabla 5-1:** Taxonomía *Solanum mammosum*

<b>Reino:</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino:</b>	<i>Tracheophyta</i>
<b>Filo:</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Solanales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Solanaceae</i>
<b>Subfamilia</b>	<i>Solanoideae</i>
<b>Género:</b>	<i>Solanum</i>
<b>Subgénero:</b>	<i>Leptostemonum</i>
<b>Especie:</b>	<i>S. mammosum</i>

Fuente: (Tomado de Naturalista, s.f.)  
Elaborado por: Rodney Reinoso, 2018

### 1.7. Alcaloides

Son bases nitrogenadas, producidas por las plantas como metabolitos secundarios. Entre los alcaloides más famosos se encuentran los presentes en las solanáceas. Las solanáceas se caracterizan por contar con muchas especies que contienen diversos tipos de alcaloides más o menos activos o venenosos. (PÉREZ, 2014)

### 1.8. Glicoalcaloides

Son una familia de compuestos químicos derivados de alcaloides en el que se añaden grupos de azúcar. (Wikipedia, 2018) Son derivados de esteroides, biogénicamente muy relacionados a los triterpenoides tetracíclicos, del ciclopentano perhidrofenantreno. (ECURED, Sf.)

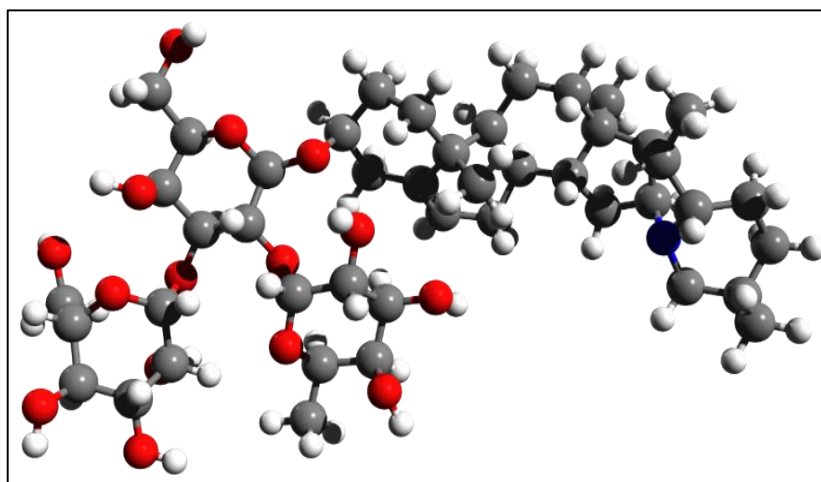
Presentan un punto de fusión entre 200 °C y se encuentran frecuentemente como glicósidos en especies del género *Solanum* y otros.

Con respecto al papel fisiológico que cumplen, se les ha clasificado como metabolitos de estrés y se consideran importantes en el control de algunas enfermedades por hongos y por nemátodos, insectos y otros.

### 1.8.1. *Solanina*

Un glicoalcaloide prototípico es la solanina, la cual es tóxica de sabor amargo, de estructura triterpenoide formado por el alcaloide solanidina y una cadena lateral de carbohidrato. (Lookformedical, Sf.)

Se la encuentra de modo natural en hojas, frutos y tubérculos de solanáceas, en particular en todas las especies del género *Solanum*. La alfa-solanina es la forma química que presenta mayor toxicidad. (Lookformedical, Sf.)



**Figura 6-1: Estructura molecular de  $\alpha$ -solanina.**

Realizado por: Giorgiognp2, 2010.

### **Características toxicológicas de la solanina.**

Posee propiedades fungicidas y pesticidas, lo cual es una de las defensas naturales de la planta. Las papas sintetizan de forma natural solanina y chaconina, un glicoalcaloide relacionado, como mecanismo de defensa contra insectos, enfermedades y predadores. (Sacha, C. 2012)

La solanina es muy estable y no se destruye con la cocción ni con la digestión por lo que es almacenada en el cuerpo. Es un inhibidor de la colinesterasa, que puede afectar también al sistema nervioso central ya que interfiere con el neurotransmisor acetilcolina. (Sacha, C. 2012)

Los glicoalcaloides de la solanidina producen en las patatas sabores amargos cuando se encuentran a concentraciones por encima de 140mg/Kg, y sensación de quemadura en la boca y garganta a concentraciones superiores a 200mg/Kg. (Sacha, C. 2012)

### **Intoxicación por glicoalcaloides de la solanina.**

Se producen cantidades elevadas de glicoalcaloides con la germinación, por la exposición a la luz o por daños mecánicos. (Sacha, C. 2012)

En general, las condiciones que promueven la formación de alcaloides promueven también la síntesis de clorofila, por lo que se dispone de indicios apreciables con facilidad cuando la papas pueden representar un riesgo.

Hay muchas personas particularmente sensibles a la misma que pueden sufrir trastornos en su estado de salud físico e incluso psíquico por su consumo, siendo el más evidente la calcificación de los tejidos blandos, articulaciones, arterias, riñones, pulmones, etc. Quienes sufren de artritis, podrían ser susceptibles y hacer que aumente el dolor y las molestias de esta enfermedad. (Sacha, C. 2012)

### **Dosis de intoxicación en el hombre:**

- Dosis letal: 400 mg
- Dosis tóxica: 25 mg
- Dosis de 2 a 5 mg/Kg de masa corporal pueden causar síntomas de intoxicación.
- Dosis de 3 a 6 mg/Kg de masa corporal pueden ser fatales.

### **Síntomas de intoxicación de los glicoalcaloides.**

#### **a) En el hombre:**

- Incluyen náuseas, diarrea, vómitos, dolor de estómago, dolor de garganta, dolor de cabeza y vértigos. En algunos casos alucinaciones, pérdida de sensibilidad, parálisis, fiebre, ictericia, pupilas dilatadas e hipotermia.
- La intoxicación se manifiesta principalmente por desórdenes gastrointestinales y neurológicos.

- Los síntomas aparecen normalmente entre 8 y 12 horas después de la ingestión, pero pueden darse también tan rápido como 30 minutos después de haber consumido alimentos con un elevado contenido en solanina.
- Dosis muy elevadas podrían producir la muerte por parálisis respiratoria, sobre todo en niños. (Sacha, C. 2012)

#### **b) En animales:**

- La reacción tóxica frente a glicoalcaloides varía entre especies animales, sin embargo, en peces; en especial en truchas *Salmo gairdnerii* muestran elevada sensibilidad a un exceso de estos compuestos.
- Compuestos derivados de alcaloides, pueden atacar a órganos específicos, distinguiéndose sustancias irritantes de los epitelios (que provocan irritación de las mucosas, con subsiguiente formación de mucus, enrojecimiento y hemorragias), venenos sanguíneos (que provocan hemólisis y anemia) y venenos nerviosos (producen movimientos incoordinados, reacciones de huida o manifestaciones paralíticas). (Sacha, C. 2012)

### **1.9. Fermentación**

De acuerdo a la mayor parte de autores en la literatura actual; el nivel mínimo necesario de nitrógeno para una fermentación exitosa es de 150 mg/L. Un déficit de nitrógeno puede ocasionar fermentaciones lentas y, además, podría provocar un incremento de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) por parte de la levadura. (Tecnología Agroalimentaria, Sf.)

#### **1.10. Biodigestor casero**

Es un recipiente cerrado en el cual se acumulan residuos orgánicos (vegetales o animales), donde las bacterias anaerobias descomponen el material contenido, obteniéndose el producto deseado.

Un biodigestor cuenta con: “una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (bioabono)”. (Guerrero, 2018)

##### **1.10.1. Condiciones para la Biodigestión**

De acuerdo con Guerrero (2018), las condiciones necesarias para la biodigestión son:

- Temperatura: deber ser entre 20-60 °C. Importante para la producción de Biogás.
- pH: Se recomienda un valor entre 6.5 y 7.5, dado a que el nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación del material orgánico y evita posible riesgo de pudrición.
- Hermeticidad: El contenedor debe estar bien sellado para evitar la entrada de oxígeno.
- Humedad: debe contener entre 80 y 90%.
- Tamaño del material orgánico: Debe ser en tamaños digeribles (pequeños) para lograr una descomposición eficiente.

### **1.11. Espectrometría infrarroja (IR)**

Es el método utilizado para para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra con características de absorción de la radiación infrarroja según su vibración molecular. (Pérez, G. Sf)

El espectro IR se puede usar como “huella dactilar” en la identificación de muestras desconocidas por medio de la comparación con espectros de referencia. (GIL, 2016)

La región IR va de 12.800 a 10  $\text{cm}^{-1}$  y se puede dividir en la región de IR cercano (NIR) (12 800 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ ), IR medio (4 000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ ) e IR lejano o FAR-IR (50 a 400  $\text{cm}^{-1}$ ). (GIL, 2016)

#### **Ventajas de la espectroscopia IR**

- Útil para determinaciones cualitativas de compuestos orgánicos y para deducir estructuras moleculares a partir de sus grupos funcionales tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. (SKOOG, y otros, 1998)
- Versatilidad: permite estudiar prácticamente cualquier muestra sin ningún tipo de preparación especial de la misma con independencia del estado en que se encuentre: líquidos, disoluciones, polímeros, geles, fibras, films, gases, etc. (GIL, 2016)
- Técnica Universal, no destructiva, rápida, económica y fiable para medidas, control de calidad y análisis dinámicos.
- Los espectros IR son ricos en información (posiciones de los picos, intensidades, anchos, formas, etc.)

### **1.11 Ámbito de la Investigación: cantón Mera**

El Cantón Mera está ubicado a 1150 m.s.n.m en la provincia de Pastaza, el cual posee una amplia vegetación. (GADM-MERA, Sf.)

Su clima es relativamente frío, éste oscila entre los 16 °C y 22 °C de temperatura, con una elevada precipitación promedio anual de 4222.7 mm (GADM-MERA, Sf.); las mismas que brindan condiciones óptimas para la proliferación de *A. fulica*, siendo así que actualmente se sitúa como una especie altamente invasora, perjudicando principalmente jardinerías y plantaciones de los habitantes del cantón.

Los moluscos fueron recolectados según un peso promedio y trasladados hacia la ciudad de Riobamba en un recipiente plástico adecuado, garantizando la vida de la especie y evitando posibles fugas.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio, es de tipo Experimental-Explicativo-Documental. Es completamente experimental porque se aplica una concentración del extracto en tiempos de exposición definidos a las unidades experimentales constituidas por igual número de individuos del mismo peso, y similar estado fisiológico, de manera de disminuir la magnitud del error experimental, ocasionado por la variación intrínseca de las unidades experimentales y además se mantiene un grupo control bajo las mismas condiciones sin la aplicación del bioplaguicida.

Además, es de carácter explicativo o causal porque se detalla y analiza los resultados de la actividad del extracto aplicado y los efectos.

También tiene un carácter documental, dado que se parte de una exhaustiva búsqueda y selección bibliográfica, que permite relacionar los resultados con esta documentación.

#### 2.2. Metodología

##### 2.2.1. Obtención y manejo de *Achatina fulica*

Esta especie se la obtuvo de lugares con amplia vegetación y lotes de terrenos con escombros situados en el Cantón Mera que posee una superficie de 520 km<sup>2</sup> a 1150 m.s.n.m. en la provincia de Pastaza en las coordenadas UTM WGS-84 Este: 821123 y Sur 9838268 (1°28'S 78°05'O).

Los caracoles fueron obtenidos aplicando la técnica de recolección directa, buscándolos de manera activa en su ambiente y sitios donde puedan distribuirse, considerando principalmente recorridos en horas nocturnas coincidentes con el horario de mayor actividad de *Achatina fulica*. Para ello se dispuso de equipo de protección personal como guantes plásticos, mascarilla, botas y alcohol antiséptico para asegurar la higiene del muestreador.

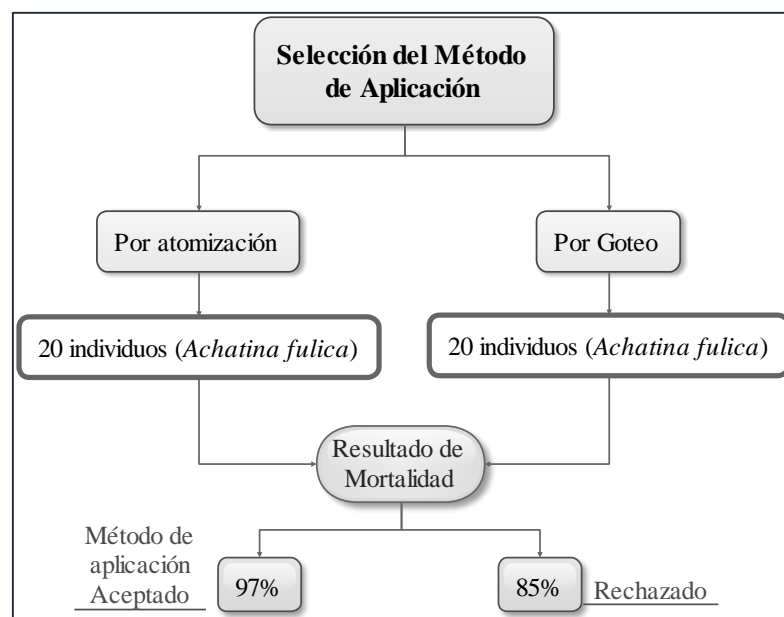
El pesaje se realizó in-situ considerando un peso promedio y fueron trasladados hacia la ciudad de Riobamba en recipientes plásticos adecuados, garantizando la vida de la especie y evitando posibles fugas.

Los caracoles fueron expuestos a un período de adaptación con alimentación basada en frutos y restos vegetales y no se consideró la temperatura ambiente; dado a que se desarrollan normalmente en climas fríos.

### 2.2.2. Obtención de *Solanum sessiliflorum*

La solanácea se la obtuvo de la ciudad de Macas – Morona Santiago, la misma que se la encuentra en estado silvestre entorno a riveras de ríos o terrenos con abundante vegetación.

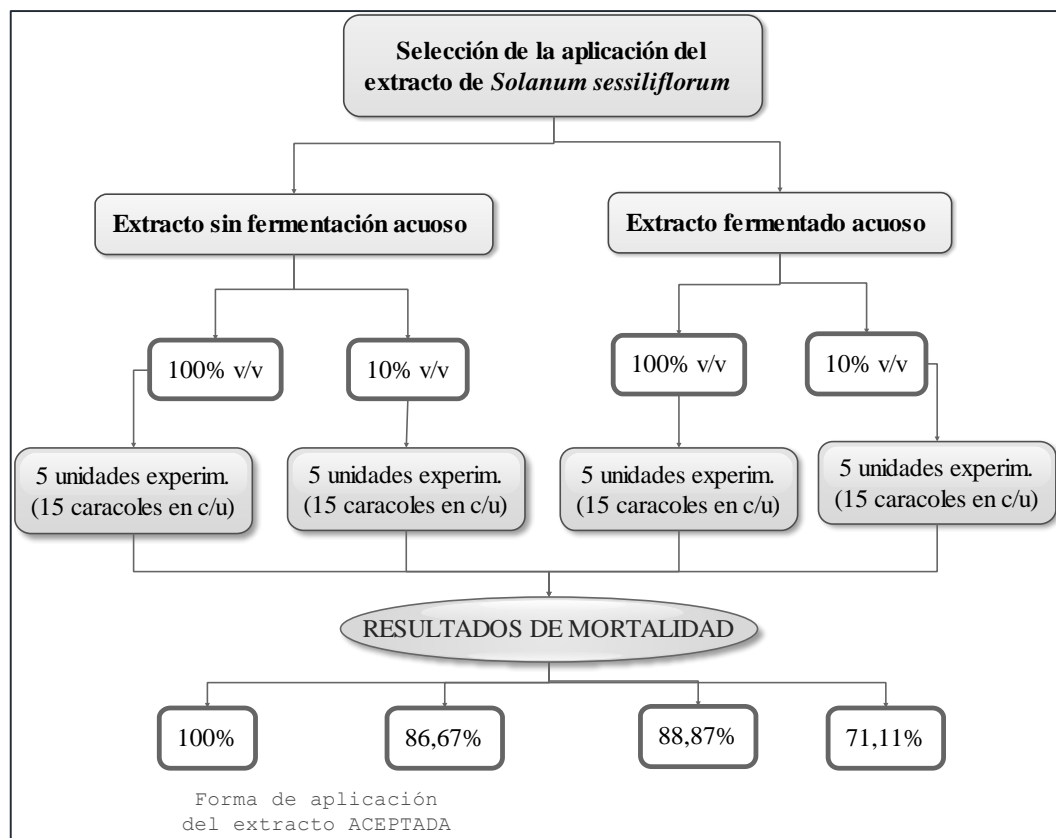
### 2.2.3. Selección del Método de aplicación del extracto.



**Gráfico 1-2: Método de aplicación del extracto.**

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

### 2.2.4. Selección de la aplicación de extractos de *Solanum sessiliflorum*



**Gráfico 2-2: Diagrama de selección de la aplicación del extracto de *S. sessiliflorum*.**  
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

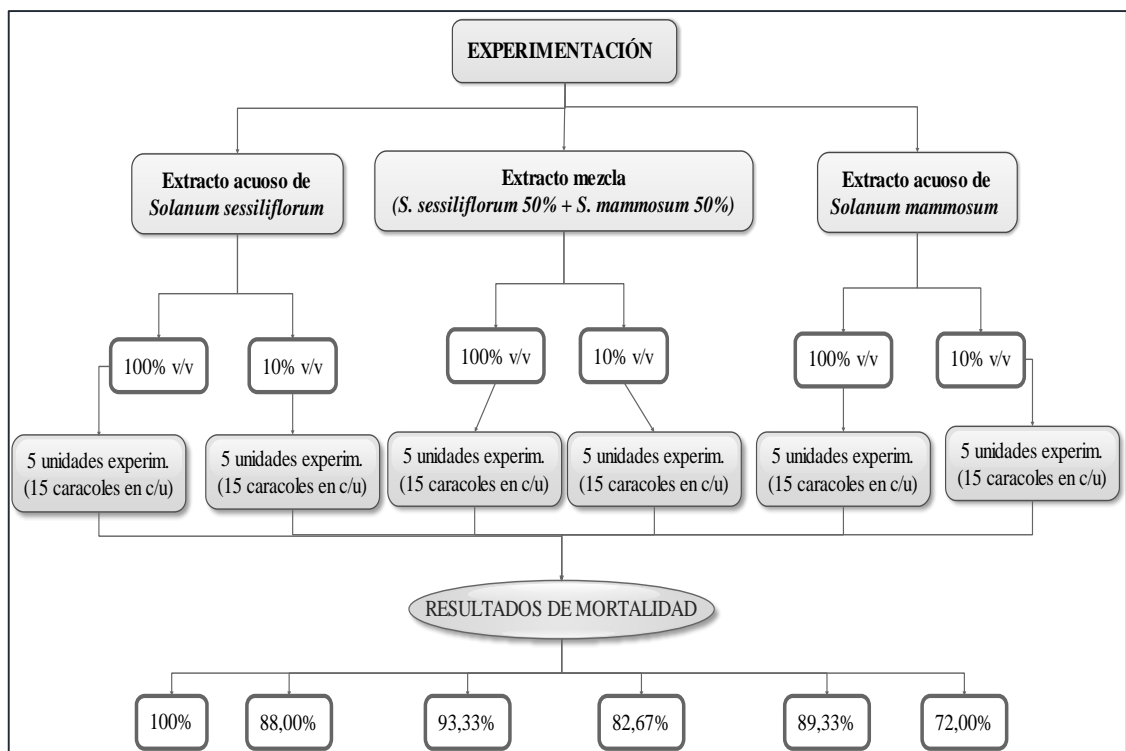
### 2.2.5. Experimento

**Método de aplicación:** Mediante atomización

**Forma del extracto:** Extracto sin fermentación de *Solanum sessiliflorum*.

**Extracto acuoso sin fermentación de *Solanum mammosum*:** Se considera aplicar este extracto a concentraciones al 100% y 10% v/v, evaluar su poder plaguicida y comprobar si existe alguna repotenciación en el poder biocida en el extracto de *Solanum sessiliflorum* mediante la mezcla de las 2 solanáceas (*S. sessiliflorum* 50% y *S. mammosum* 50%), aplicando concentraciones al 100% y 10% v/v.

A continuación, se esquematiza el proceso de experimentación con los extractos de las especies vegetales consideradas frente al caracol africano:



**Gráfico 3-2: Diagrama de Experimentación con extractos de las 2 solanáceas.**

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

## 2.2.6. Obtención de extractos

### 2.2.6.1. Extracto de *Solanum sessiliflorum*

Los frutos fueron expuestos al sol por 3 días con la finalidad de eliminar humedad que pueda llevar a la pudrición del fruto y principalmente para incrementar el contenido de glicoalcaloides en los mismos. Se almacenaron en fundas Ziploc para una mejor conservación.

Sabiendo que cada fruto posee 46,5 g aproximadamente y rinde un promedio de 7 mL de extracto. Para este extracto se tomaron los frutos sometidos al sol, se pesó la cantidad requerida (19 frutos), se los cortó a la mitad, se exprimió y se coló mediante un tamiz, recogiendo 120 mL de extracto en un recipiente adecuado.

Para la concentración al 10%, se tomó 10 mL del extracto puro, se aforó en un vaso de precipitación a 100 mL con agua destilada y se agitó hasta conseguir un líquido más homogéneo.

#### 2.2.6.2. Extracto fermentado de *S. sessiliflorum*

Una vez obtenido el extracto puro del fruto, se lo colocó 5 litros en el biodigestor casero. Posteriormente se añadió 30 mg de levadura fresca y 15 mg de azúcar; para promover la fermentación. Periódicamente se controló el pH a 4.9 del extracto y se realizó la purga del CO<sub>2</sub> y espuma generada, y al cabo de 15 días se extrajo una cantidad preliminar para pruebas en *A. fulica*.

#### 2.2.6.3. Extracto acuoso de *Solanum mammosum*

Se trocearon y posteriormente licuaron frutos de *S. mammosum* en una relación aproximada de 200 mL de agua destilada por cada 5 frutos. El extracto se colocó en un recipiente adecuado para su posterior aplicación por aspersión mediante un atomizador.

#### 2.2.6.4. Extracto Mezcla

Para este extracto se tomó 50% del extracto puro de *S. sessiliflorum* y 50% de extracto acuoso de *S. mammosum*, se mezcló y se almacenó en un recipiente hasta su aplicación.

Para la mezcla al 10%, se tomaron con una pipeta 5 mL de extracto puro de *S. sessiliflorum* y 5 mL de extracto acuoso de *S. mammosum*, se mezcló y aforó a 100 mL en un vaso de precipitación.

#### 2.2.7. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completo al azar (DCA).

**Tabla 1-2.** Tratamientos aplicados en la investigación.

T	DESCRIPCIÓN
1	Extracto de <i>Solanum sessiliflorum</i> al 100% frente a <i>Achatina fulica</i> .
2	Extracto de <i>Solanum sessiliflorum</i> al 10% frente a <i>Achatina fulica</i> .
3	Extracto acuoso de <i>Solanum mammosum</i> al 100% frente a <i>Achatina fulica</i> .
4	Extracto acuoso de <i>Solanum mammosum</i> al 10% frente a <i>Achatina fulica</i> .
5	Extracto mezcla de las solanáceas al 100% frente a <i>Achatina fulica</i> .
6	Extracto mezcla de las solanáceas al 10% frente a <i>Achatina fulica</i> .
*	Testigo de <i>Achatina fulica</i>

Elaborado por: Rodney Reinoso, 2018.

#### **2.2.8. Población y muestra**

La población de estudio constituyó 800 caracoles recolectados en el Cantón Mera en las coordenadas UTM WGS-84 Este: 821123 y Sur 9838268 (1°28'S 78°05'O), considerando criterios descritos a continuación.

- Rango de peso: 20 - 35 g
- Hallarse dentro de un área de: 200 m<sup>2</sup>
- Estado de la concha: sin presencia de fracturas

Las muestras constituyeron 300 caracoles tomados del total de caracoles para los tratamientos con *Solanum sessiliflorum* con los extractos fermentados y sin fermentar a concentraciones al 100% y 10% v/v.

Para la experimentación considerando los extractos de *Solanum mammosum*, *Solanum sessiliflorum* y su respectiva *mezcla*; se tomó una muestra de 450 caracoles.

Para los tratamientos los moluscos fueron elegidos completamente al azar. Cada individuo de la población de estudio fue enumerado aleatoriamente y posteriormente a manera de tómbola se fueron formando las unidades experimentales constituidas por 15 caracoles en cada pecera.

### **2.3. Análisis estadístico**

#### **2.3.1. Test de ANOVA:**

Mediante el programa estadístico *IBM SPSS Statistics 23*, se realiza este análisis que sirve para probar la hipótesis de que las medias de 2 o más poblaciones son iguales.

#### **2.3.2. Prueba de diferencias de Medias:**

Se aplica el Método o Prueba de Tukey al 5%, que una vez establecido un igual número de repeticiones en todos los tratamientos nos sirve para evaluar las hipótesis de igualdad o diferencia entre medias de los tratamientos en la investigación.

## 2.4. Recursos Materiales

### 2.4.1. Materia prima

Frutos de <i>Solanum sessiliflorum</i>
Frutos de <i>Solanum mammosum</i>
Levadura fresca
<b>Especie plaga:</b> <i>Achatina fulica</i> (caracol gigante africano)

### 2.4.2. Equipos

N°	DETALLE
1	Biodigestor casero
2	Balanza analítica
3	Espectrofotómetro IR
4	pH-metro
5	Cámara digital
6	Computador

### 2.4.3. Materiales de Laboratorio

N°	DETALLE
1	Caja de guantes
2	Mascarillas
3	Vasos de precipitación de 100 y 250 mL
4	Pipetas Pasteur de 1 y 3 mL
5	Cajas Petri
6	Tamizador / colador
7	Atomizadores
8	Frascos plásticos (1,5 L)
9	Algodón
10	Toallas de cocina

### 2.4.4. Reactivos

N°	DETALLE
1	Agua destilada
2	Alcohol antiséptico

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### Análisis Químico y Organoléptico de los extractos

**Tabla 1-3:** Análisis de los extractos de los frutos de *S. sessiliflorum* y *S. mammosum*.

PARÁMETRO	Extracto puro de <i>S. sessiliflorum</i>	Extracto acuoso de <i>S. mammosum</i>	Extracto Mezcla	Extracto fermentado de <i>S. sessiliflorum</i>
pH	4.9	6.3	5.4	4.3
Nitrógeno orgánico	495 mg/L	-	-	> 600 mg/L
Color	Verde claro	Naranja oscuro	Café claro	Café claro
Olor	Cítrico	Frutal	Frutal	Químico
Aspecto	Cremoso	Líquido	Líquido	Líquido

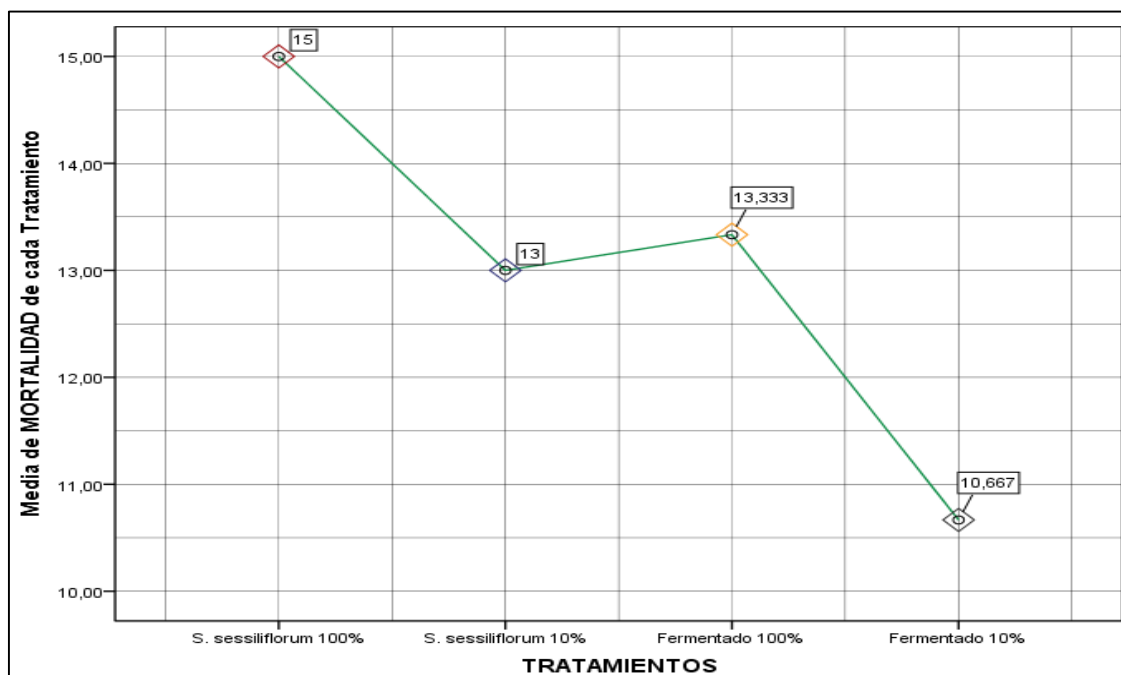
**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018.

#### 3.1. Selección del Método de aplicación del extracto.

De las metodologías con las cuales se aplicaron los extractos se obtuvo mayor éxito mediante la atomización, ya que además de un mayor porcentaje de mortalidad en *Achatina fulica* (97%), con este método se facilita y ahorra tiempo para su aplicación; dado a que mediante goteo con Pipetas de Pasteur se requiere de mayor tiempo y volumen uniforme para aplicar a cada individuo; siendo así que se tiene una mortalidad de 85%.

#### 3.2. Resultados para la selección de la aplicación de extractos de *Solanum sessiliflorum*





**Gráfico 1-3. Media de mortalidad aplicando *S. sessiliflorum* 100% y 10% y fermentado.**

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

### 3.2.1. Extracto acuoso sin fermentación de *Solanum sessiliflorum*

En el extracto se evidenció la presencia de látex conforme se lo dejaba en reposo, el cual fue de coloración verde-claro, poseía una alta viscosidad (a manera de goma) y al aislarlo del extracto se solidificó y cambió a un color café-verdoso.

De acuerdo con la información bibliográfica (ROSETO, M., 2014, pp.30-32) se conoce de funciones específicas del látex contenido en ciertas plantas del mismo género, entre otras, actúa como pesticida natural, y por su sabor amargo sirve para combatir a los predadores, haciendo indigesta a la planta e incluso venenosa. De esto se deduce que la presencia y características del látex contenido en el extracto de *S. sessiliflorum* también incrementa esta actividad biocida siendo así que se tiene un alto porcentaje de mortalidad para *Achatina fulica* (86,67%) aún a una baja concentración del extracto (10% v/v), pero no existe información relacionada. Sin embargo, investigaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical de Cuba (INIFAT, 2008, pp. 6-10.) evalúan el efecto molusquicida de algunas especies vegetales, entre éstas, dos solanáceas que presentaron alta efectividad (superior al 80%).

Un caso particular de aplicación de látex vegetal para evaluar la actividad molusquicida fue el estudio realizado por Rosero M. (2014, pp.), donde extrajo látex (100%) de la especie *pela manos* (*Ficus subandina* Dugand), obteniendo una mortalidad para el caracol *Hélix aspersa* de 55,44% mediante aspersión y 26% por alimentación.

### 3.2.2. Extracto fermentado de *S. sessiliflorum*.

En la presente investigación se implementó el proceso de fermentación para evaluar el potencial biocida del extracto de *S. sessiliflorum*, tomando en consideración estudios como el realizado por los autores RODRÍGUEZ, A. & ORAMAS, S. (2016, pp. 4-6.), donde se sugiere la fermentación de las hojas de la “flor de muerto” (*Tagetes erecta*), “árbol de Nim” (*Azadirachta indica*), o del “árbol del paraíso” (*Melissa zedarach*) en agua (1 Kg/10L) durante 48-72 horas, filtrar, diluir al 25% y aplicarlo mediante aspersión en horas de la tarde o al oscurecer para el control de caracoles y babosas.

Estos autores también sugieren utilizar la materia vegetal de la adelfa o laurel de flor (*Nerium oleander*), mediante maceración en agua al 12% (120g/L agua) durante 48 horas, fermentación, filtración o decantación y aplicación en plagas de moluscos para obtener un efecto repelente, ya que únicamente se tiene una mortalidad de 10%.

Para la fermentación del extracto de *Solanum sessiliflorum* se optó por añadir levadura al extracto en el biodigestor. Se obtuvo un olor característico a licor con un pH entre 4.3 y tomó una coloración café clara; el contenido alto de nitrógeno garantizó un buen desarrollo del proceso de fermentación.

De esta manera basándonos en la investigación realizada, como se aprecia en el Gráfico 1-3, no se obtiene un mayor promedio de mortalidad para *A. fulica* aplicando el extracto fermentado de *S. sessiliflorum*. Siendo así que, se tuvo valores semejantes de mortalidad entre *S. sessiliflorum* 10% y la Fermentación al 100%.

El no obtener resultados elevados en la mortalidad de *A. fulica* podría ser un indicio de que el poder biocida se relaciona con el látex que posee *S. sessiliflorum* y que mediante la fermentación se precipita y/o adhiere a las paredes del biodigestor, además de que en el proceso se obtienen nuevos compuestos y se debe considerar que al extracto se lo ha sometido a un medio carente de oxígeno, en donde microorganismos anaerobios fermentativos actúan descomponiendo la materia vegetal.

De esta manera se descartó testar con el extracto fermentado de *S. sessiliflorum* para los siguientes análisis estadísticos de mortalidad de *A. fulica*, y se trabajó con los extractos crudos totales de las 2 especies del género *Solanum* (*S. sessiliflorum* y *S. mammosum*) y con la mezcla de los extractos, también a concentraciones al 100% y 10% v/v.

### 3.3. Resultado comparativo del poder biocida entre *S. sessiliflorum* y *S. mammosum*.

**Tabla 2-3.** Porcentaje de Mortalidad de *A. fulica*.

Tratamiento	Concentración	Mortalidad a 24 h	Mortalidad a 72 h
Extracto <i>S. sessiliflorum</i>	100 %	82,67 %	100,00 %
	10 %	70,67 %	88,00 %
Extracto <i>S. mammosum</i>	100 %	78,67 %	89,33 %
	10 %	64,00 %	72,00 %
Extracto Mezcla	100 %	80,00 %	93,33 %
	10 %	66,67 %	82,67 %

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

De acuerdo a la información bibliográfica, se consideró probar la actividad biocida de la especie *S. mammosum* para la investigación, ya que además de pertenecer al mismo género que *S. sessiliflorum*, se conoce sobre su potencial biocida y otras aplicaciones por las propiedades químicas y biológicas que posee.

En la presente investigación se trabajó en ambos casos con extractos acuosos, considerando la solubilidad en agua de los principios activos y la facilidad para su aplicación. Sin embargo, se conoce de la aplicación de extracto alcohólico (25%) de los frutos secos y molidos de *Solanum mammosum*, para el control de moluscos, con resultados de mortalidad del 100%, tal como se describe a continuación:

**Tabla 3-3.** Resultados de los experimentos de laboratorio INIFAT.

PLANTA	PARTE DE LA PLANTA	CONCENTRACIÓN DEL EXTRACTO	% de Mortalidad			
			<i>Praticolella griseola</i>		<i>Succinia sagra</i>	
			24h	48h	24h	48h
<i>Solanum globiferum</i>	Frutos	Alcohólico 25%	100	*	100	*
		Alcohólico 12.5%	100	*	100	*
		Acuoso 10%	100	*	100	*
		Acuoso 5%	75	*	85	*
<i>Solanum mammosum</i>	Frutos	Alcohólico 25%	100	*	100	*
		Alcohólico 12.5%	100	*	96	100

\* No se hicieron las pruebas.

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018; Tomado de INIFAT, 2008, pp. 14.

De acuerdo a investigaciones realizadas en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical de Cuba (INIFAT, 2008, pp. 1-15.), sobre actividad biocida de *S. globiferum*, y *S. mammosum*, se trabajó con los frutos, preparando extractos alcohólicos (25%, 12.5%) y acuosos (10% y 5%) para la primera especie y extractos alcohólicos (25% y 12.5%) para la segunda especie, respectivamente. Presentando alta efectividad, con una mortalidad superior al 80% sobre dos especies de moluscos (*Praticolella griseola* y *Succinia sagra*).

Del extracto Mezcla (*S. sessiliflorum* 50% + *S. mammosum* 50%) se obtuvo características químicas y organolépticas otorgadas por la combinación de los extractos de las 2 solanáceas.

Se consideró la mezcla de los extractos en medio acuoso con la finalidad de evaluar una posible potenciación de la actividad biocida frente a la especie *A. fulica*, dado a que se tiene un reconocimiento previo de los estudios realizados con *S. mammosum*. Sin embargo, no se tiene un porcentaje superior en la mortalidad, con lo que se podría pensar en que el poder biocida conseguido con *S. mammosum* sería otorgado al encontrarse en medio alcohólico.

### **3.4. Resultados de la Actividad Biocida de los extractos aplicados**

Los mayores valores de mortalidad para *Achatina fulica* a las 24 y 72 horas se aprecian en los tratamientos con los extractos de *S. sessiliflorum* y la Mezcla al 100% v/v; de esta manera se puede señalar que el extracto de *S. mammosum* no es representativo potenciando la actividad biocida en la mezcla.

La capacidad biocida que posee el extracto de *S. sessiliflorum* se confirma al evidenciar valores altos de mortalidad a las 24 y 72 horas a una concentración al 10% v/v, siendo el mejor tratamiento a una concentración inferior.

#### **3.4.1. Análisis Descriptivo de la muerte de *A. fulica* frente a extractos aplicados.**

**Tabla 4-3.** Análisis Descriptivo de Mortalidad.

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
<b>Sin tratamiento</b>	6	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
<b><i>S. sessiliflorum</i> 100%</b>	6	15,0000	0,00000	0,00000	15,0000	15,0000	15,00	15,00
<b><i>S. sessiliflorum</i> 10%</b>	6	13,2000	,83666	,37417	12,1611	14,2389	12,00	14,00
<b><i>S. mammosum</i> 100%</b>	6	13,4000	,54772	,24495	12,7199	14,0801	13,00	14,00
<b><i>S. mammosum</i> 10%</b>	6	10,8000	,83666	,37417	9,7611	11,8389	10,00	12,00
<b>Mezcla 100%</b>	6	14,0000	,70711	,31623	13,1220	14,8780	13,00	15,00
<b>Mezcla 10%</b>	6	12,4000	,54772	,24495	11,7199	13,0801	12,00	13,00
<b>Total</b>	42	11,2571	4,85279	,82027	9,5902	12,9241	0,00	15,00

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

Se aprecia que el tratamiento más efectivo con relación a la muerte de la especie *A. fulica* es el control con el extracto de *S. sessiliflorum* a una concentración del 100%, con una mortalidad a las 72 horas de un promedio de 15 individuos sin variación; es decir, es 100% efectivo.

Seguido del anterior tratamiento, la aplicación del extracto Mezcla al 100%, presenta una muerte media de 14 +/-0.71 individuos por repetición; es decir, como mínimo morirán 13 y máximo 15 caracoles por cada una de las 5 repeticiones aplicadas a un nivel de confianza del 95%.

Considerando una concentración al 10%, el tratamiento con *S. sessiliflorum* presenta buena efectividad, dado a que se tiene una muerte media de 13.2 +/-0.8 caracoles por repetición.

### 3.4.2. Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Muerte de *A. fulica*.

**Tabla 56-3.** Prueba de homogeneidad de varianzas

Individuos muertos	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	3,703	6	35	,008

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

De acuerdo a la prueba de homogeneidad de varianzas, se evidencia una diferencia significativa en la mortalidad conforme a los diferentes tratamientos aplicados, dado que el valor de significancia = 0,008 es inferior al 0,05 (5%).

### 3.4.3. *Análisis de Varianza de la actividad biocida de los extractos.*

**Tabla 6-3.** ANOVA

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	790,686	6	131,781	368,987	,000
Dentro de grupos	10,000	35	,357		
Total	800,686	41			

<b>Valor de F. Tabulado</b>	<b>Coefficiente de Variación</b>
1,932	11,085 %

**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018.

Mediante el Análisis de Varianza para comprobar la existencia de significancia entre los tratamientos aplicados a un nivel de 5% significancia, se señala que: existe una diferencia significativa debido a que el valor de F (Fisher) tabulado = 1,932 es menor al F. calculado = 368,987.

Con ello se concluye que la mortalidad de *A. fulica* es diferente de acuerdo a los distintos tratamientos aplicados.

El coeficiente de variación es de 11,085 %, que según bibliografía se considera que existe una variabilidad aceptable y alta estabilidad ( $10\% \leq CV \leq 33\%$ ). Además, proporciona un diagnóstico de haber realizado una experimentación exitosa.

#### 3.4.4. Prueba de Tukey: Comparación entre tratamientos y mortalidad.

**Tabla 7-3.** Prueba de Tukey al 5%

HSD Tukey <sup>a</sup>						
TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Sin tratamiento	6	0,0000				
<i>S. mammosum</i> 10%	6	10,8000				
<i>Mezcla</i> 10%	6		12,4000			
<i>S. sessiliflorum</i> 10%	6		13,2000	13,2000		
<i>S. mammosum</i> 100%	6		13,4000	13,4000		
<i>Mezcla</i> 100%	6			14,0000	14,0000	
<i>S. sessiliflorum</i> 100%	6					15,0000
Sig.		1,000	1,000	,150	,371	,150

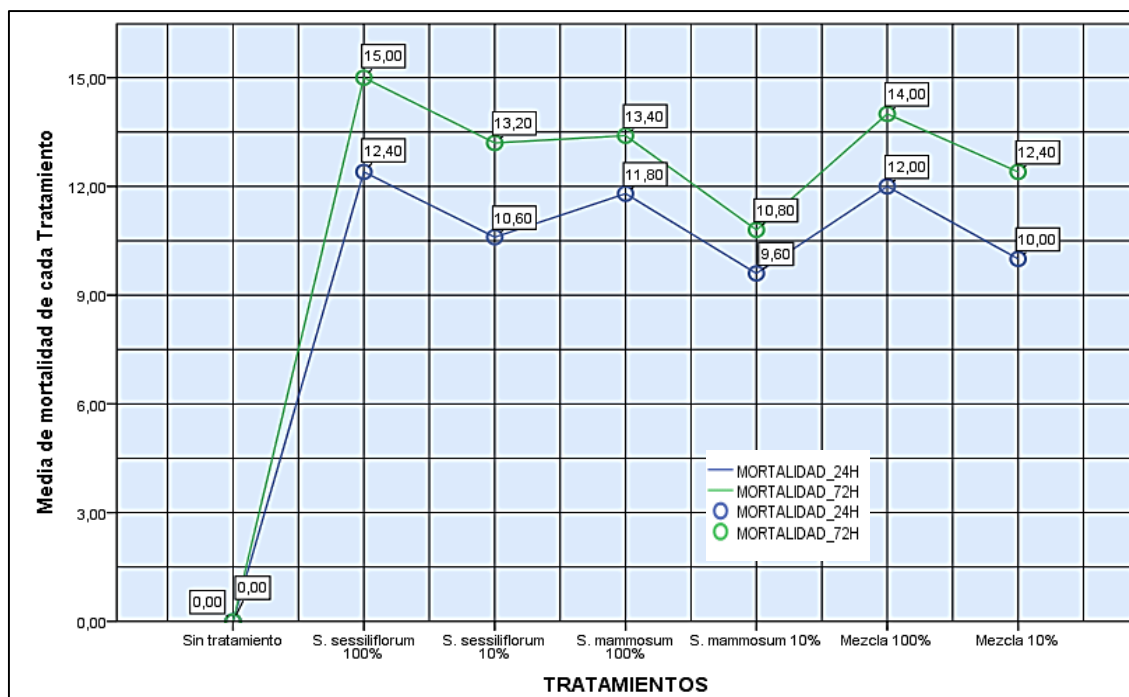
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

Con relación a la mortalidad tras los diferentes tratamientos aplicados, mediante la prueba de Tukey se evidencia la existencia de una diferencia significativa para el Testigo (Sin tratamiento) y el tratamiento con extracto de *S. mammosum* 10%.

Además, se puede apreciar tratamientos significativamente iguales (no hay diferencias significativas) entre:

- Mezcla 10%, *S. sessiliflorum* 10% y *S. mammosum* 100%
- *S. sessiliflorum* 10%, *S. mammosum* 100% y Mezcla 100%
- Mezcla 100% y *S. sessiliflorum* 100%.

Según los tratamientos se tiene que *S. sessiliflorum* a una concentración del 10% funciona efectivamente comparado con *S. mammosum* y la respectiva Mezcla al 100%, dando un indicio de que los mejores tratamientos son empleando el extracto de *S. sessiliflorum* puro y al 10%.



**Gráfico 4-3. Mortalidad vs Tratamientos: a 24h y 72h.**

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018.

El Gráfico 2-3. Evidencia una mayor variación en los promedios de mortalidad de *A. fulica* para las 24 horas teniéndose un valor de 12.315% frente a una variación de 11.085% a las 24 horas. Interpretándose en este caso de que incide principalmente el tipo de extracto y su concentración aplicada en cada tratamiento, así como su poder biocida para actuar en mayor o menor tiempo sobre la especie *A. fulica*.

Estos resultados son comparables con el estudio del INIFAT (2008, pp. 6-10.) que con extractos acuosos de *S. globiferum* al 10% obtuvo una mortalidad a 24 horas del 100% para las dos especies de caracoles y extractos al 5% provoca una mortalidad de 75% para *Praticolella griseola* y 85% para *Succinia sagra*, respectivamente. Se considera una medición a las 48 horas; sin embargo, no se hicieron estas pruebas.

### 3.5. Espectroscopía de Infrarrojos

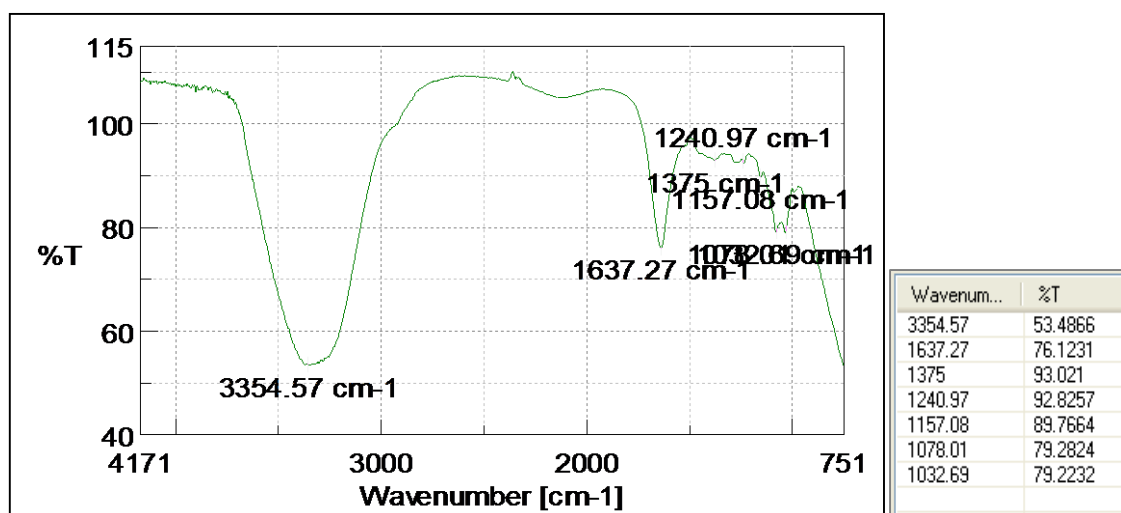
En la presente investigación, se utilizó el potencial de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier utilizada para predecir la concentración de glicoalcaloides y/o posibles compuestos químicos con actividad biocida que puedan encontrarse en el extracto de los frutos de *S. sessiliflorum*.



El análisis de identificación por espectroscopia de infrarrojos se efectuó en los extractos obtenidos a partir de las especies vegetales (*S. sessiliflorum* y *S. mammosum*) y en la baba del molusco (*A. fulica*) antes y después de la aplicación de los extractos.

### 3.5.1. Espectro IR del extracto de *S. sessiliflorum*

En el análisis del contenido glicoalcaloidal de la muestra del extracto de *S. sessiliflorum*, se tiene en cuenta la solanina como uno de los principales glicoalcaloides presentes comúnmente en las solanáceas. Para ello se realizó una comparación entre el Espectro IR del estándar de solanina pura 99% Sigma Aldrich y el espectro obtenido del extracto de *S. sessiliflorum*.



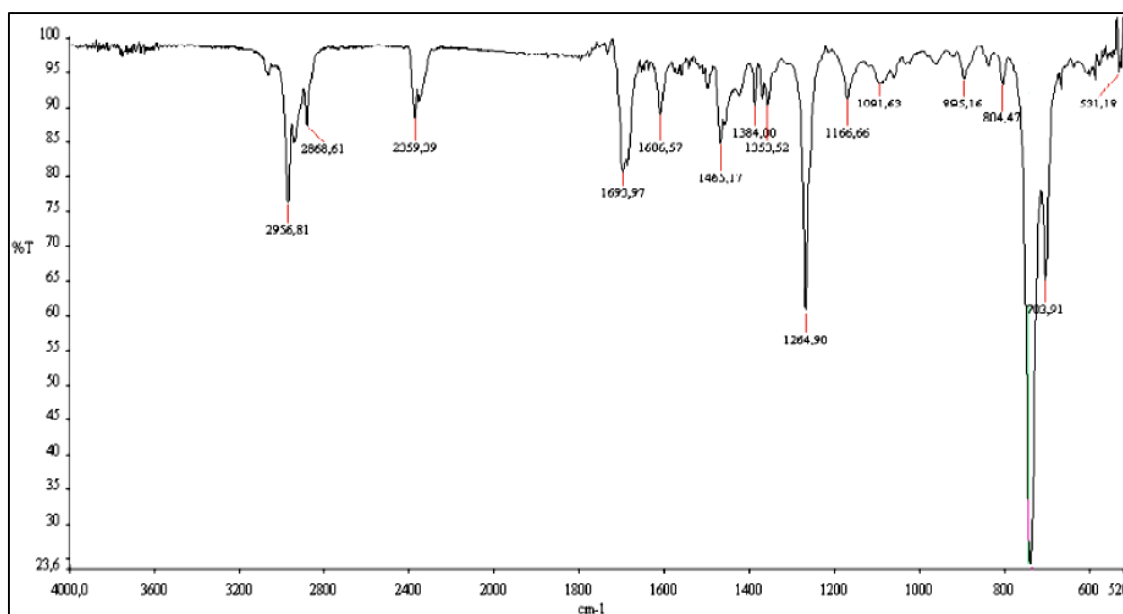
**Gráfico 5-3. Espectro FT-IR del extracto puro de *S. sessiliflorum***

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

**Tabla 8-3. Resultado del espectro IR del extracto de *S. sessiliflorum*.**

Grupo y Clase	Valor obtenido (Wavenumber)	Rango (cm <sup>-1</sup> )
-NH <sub>2</sub> en amina aromática, primaria o amida.	3354.57 cm <sup>-1</sup>	3520 - 3320
C=O y NH <sub>2</sub> en una amida primaria.	1637.27 cm <sup>-1</sup>	1680 - 1620
-CH <sub>2</sub> -N	1375.00 cm <sup>-1</sup>	1385 - 1360
C-O-C en éteres.	1240.97 cm <sup>-1</sup>	1240 - 1070
SO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> en Sulfonamidas.	1157.08 cm <sup>-1</sup>	1170 - 1145
C-O-C en éteres alifáticos.	1078.01 cm <sup>-1</sup>	1150 - 1070
CH <sub>2</sub> -OH en alcoholes primarios.	1032.69 cm <sup>-1</sup>	1060 - 1025

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

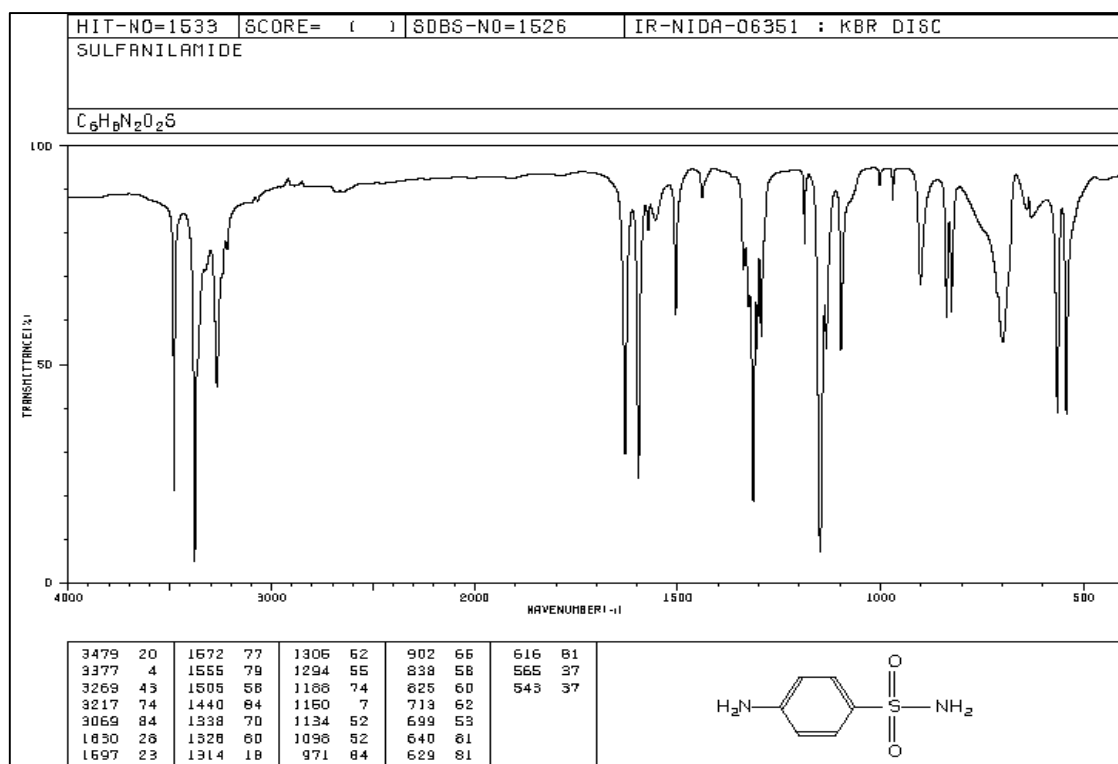


**Gráfico 6-3. Espectro IR del estándar de solanina pura 99% Sigma Aldrich.**  
**Realizado por:** Pamela Vélez, 2014, pp. 56.

VIBRACIÓN	RANGO
Tensión del C-H	3056 – 2850 $\text{cm}^{-1}$
Flexión del C-H	1390 – 1350 $\text{cm}^{-1}$
Flexión del $-\text{CH}_2$	900 – 880 $\text{cm}^{-1}$
Flexión del $\text{CH}_3$	1650 – 1400 $\text{cm}^{-1}$
Tensión del $-\text{CH}_2\text{-N}$	1385 – 1360 $\text{cm}^{-1}$

**Realizado por:** Pamela Vélez, 2014, p. 56.

En el espectro IR de la muestra del extracto de *S. sessiliflorum* se aprecia la vibración del enlace  $-\text{CH}_2\text{-N}$  a  $1375 \text{ cm}^{-1}$ , que conforme a estudios realizados por Vélez P. (2014, pp. 63) sobre el aislamiento y caracterización de la solanina en la berenjena (*Solanum melongena* L.), representa la vibración más importante y característica de la estructura de la solanina como glicoalcaloide, con lo que se puede identificar su presencia en la muestra.



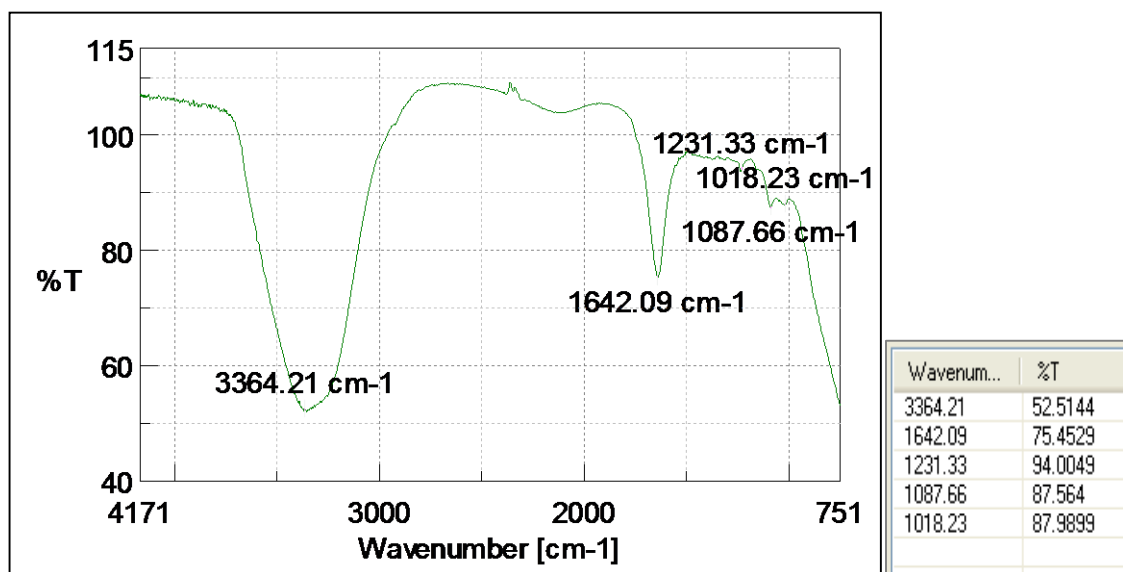
**Gráfico 7-3. Espectro IR de la sulfanilamida.**

Realizado por: Spectral Database for Organic Compounds (SDBS), 2018.

El espectro IR del extracto de *S. sessiliflorum* revela la existencia de un compuesto azufrado que según Shurvell, H. F. (2006, pp. 10) a una vibración del enlace SO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> a 1157.08 cm<sup>-1</sup>, se trataría de una sulfonamida, cuyo compuesto base es la sulfanilamida y la cual posee una estructura similar al ácido para-aminobenzoico (PABA).

En el análisis comparativo que se realizó del espectro IR del extracto de *S. sessiliflorum*, se puede observar la concordancia de algunas bandas que existen con el espectro IR de la Sulfanilamida disponible en la base de datos (SDBS), ya que se aprecian vibraciones semejantes (dentro del rango de longitud de onda y transmitancia) en torno a las bandas a 3354.57 cm<sup>-1</sup>, 1637.27 cm<sup>-1</sup>, 1240.97 cm<sup>-1</sup> y 1078.01 cm<sup>-1</sup> con respecto al espectro IR de la sulfanilamida. Esto confirmaría la presencia de un compuesto cuya molécula estaría constituida por azufre, lo cual también explicaría el carácter biocida que posee el extracto.

### 3.5.2. Espectro IR del extracto acuoso de *S. mammosum*



**Gráfico 8-3. Espectro FT-IR del extracto acuoso de *S. mammosum***

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

**Tabla 9-3. Resultado del espectro IR del extracto acuoso de *S. mammosum*.**

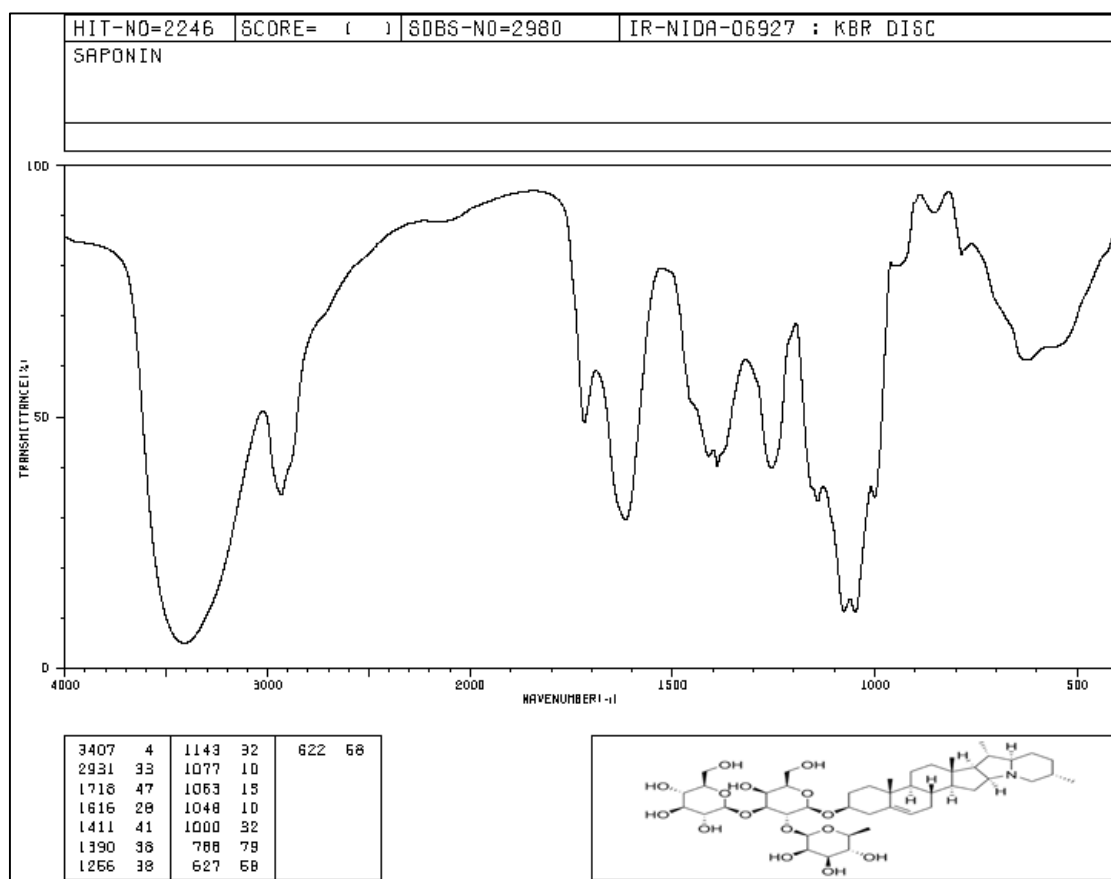
Grupo y Clase	Valor obtenido (Wavenumber)	Rango (cm <sup>-1</sup> )
-OH en alcoholes y fenoles.	3364.21 cm <sup>-1</sup>	3420 - 3250
C=O en benzofenonas.	1642.09 cm <sup>-1</sup>	1670 – 1640
Ter-butil en hidrocarburos.	1231.33 cm <sup>-1</sup>	1255 - 1240
C-OH en alcoholes secundarios o terciarios	1087.66 cm <sup>-1</sup>	1120 - 1080
CH-OH en alcoholes cíclicos	1018.23 cm <sup>-1</sup>	1065 - 1015

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

Según bibliografía, se sabe que *S. mammosum* contiene saponinas y glicoalcaloides, entre ellos la solanina. Por ejemplo; Álvarez R. et al. (2000, pp. 3) señala que esta especie y en general todo el género *Solanum*, es conocida porque contiene alcaloides de tipo esteroidales (denominados glicoalcaloides), algunos de los cuales son de importancia farmacéutica, ya que sirven de materia prima para producir medicamentos, principalmente hormonas y productos corticosteroides.

Por lo tanto, mediante el análisis del espectro IR realizado del extracto de *S. mammosum*, no se puede comprobar acertadamente la presencia de glicoalcaloides.

No obstante, se procedió a hacer el análisis comparativo entre el espectro IR del extracto de *S. mammosum* con el espectro IR de la Saponina disponible en la base de datos (SDBS), dado a que se cuenta con información bibliográfica sobre el uso de las saponinas como plaguicida, es así que Ahumada A. et al. (2016, pp. 459-460) señala el uso de saponinas de quinua como molusquicida en contra de caracoles *Pomacea canaliculata* (caracol manzana o GAS).



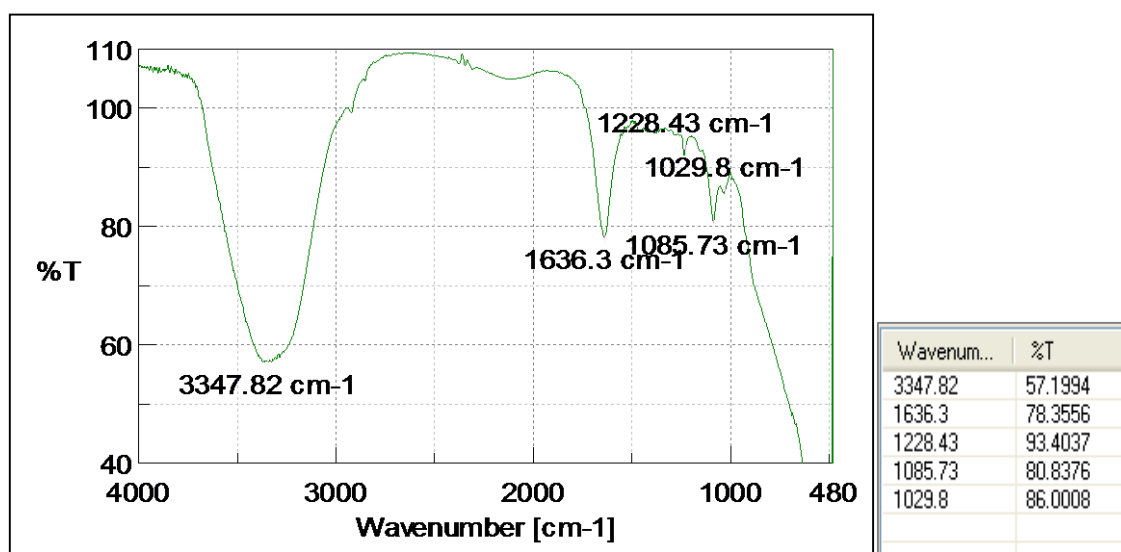
**Gráfico 9-3. Espectro IR de la Saponina.**

**Realizado por:** Spectral Database for Organic Compounds (SDBS), 2018.

De acuerdo al análisis comparativo, se observa la concordancia de algunas bandas del espectro IR de la saponina con el IR del extracto de *S. mammosum* en torno a las bandas a  $3364.21\text{ cm}^{-1}$ ,  $1087.66\text{ cm}^{-1}$  y  $1018.23\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a vibraciones de enlaces -OH en alcoholes y fenoles, C-OH en alcoholes secundarios o terciarios y CH-OH en alcoholes cíclicos, respectivamente, concordante con la estructura obtenida de la información bibliográfica correspondiente.

Esto daría un indicio de la presencia de saponinas en el extracto de *S. mammosum* y que de ahí obtiene su poder biocida sobre *A. fulica*. Con esto además se justificaría la alta solubilidad en agua que posee la muestra, facilitando la dispersión sobre la plaga y consecuentemente incrementando su efectividad biocida.

### 3.5.3. Espectro IR del extracto Mezcla (*S. sessiliflorum* + *S. mammosum*)



**Gráfico 10-3. Espectro FT-IR del extracto mezcla**

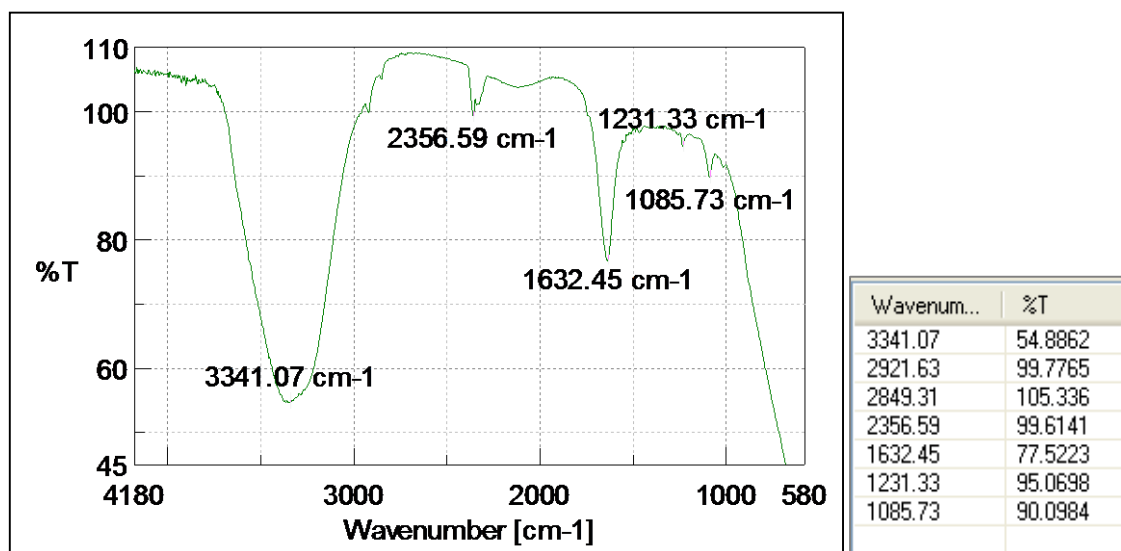
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

**Tabla 10-3. Resultado del espectro IR del extracto Mezcla (*S. sessiliflorum*+ *S. mammosum*).**

Grupo y Clase	Valor obtenido (Wavenumber)	Rango (cm <sup>-1</sup> )
-NH <sub>2</sub> en amina aromática, primaria o amida.	3347.82 cm <sup>-1</sup>	3520 - 3320
C=O y NH <sub>2</sub> en una amida primaria.	1636.30 cm <sup>-1</sup>	1680 - 1620
C-C-N en aminas.	1228.43 cm <sup>-1</sup>	1230 – 1100
C-OH en alcoholes secundarios o terciarios	1085.73 cm <sup>-1</sup>	1120 - 1080
CH <sub>2</sub> -OH en alcoholes primarios.	1029.80 cm <sup>-1</sup>	1060 - 1025

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

### 3.5.4. Espectro IR de la baba de *A. fulica*



**Gráfico 11-3. Espectro FT-IR de la baba de *A. fulica***

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

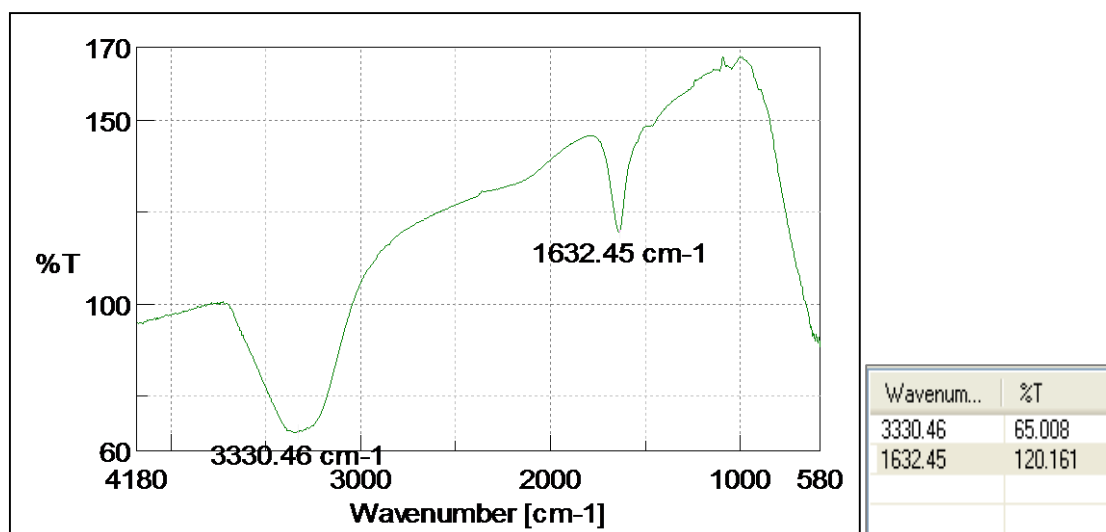
**Tabla 11-3. Resultado del espectro IR de la baba de *A. fulica*.**

Grupo y Clase	Valor obtenido (Wavenumber)	Rango (cm <sup>-1</sup> )
-NH <sub>2</sub> en amidas primarias.	3341.07 cm <sup>-1</sup>	3360 - 3340
-CH <sub>3</sub> y -CH <sub>2</sub> - en compuestos alifáticos.	2921.63 cm <sup>-1</sup>	2990 - 2850
-CH <sub>3</sub> unido a Oxígeno o N.	2849.31 cm <sup>-1</sup>	2850 - 2700
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> en hidrohaluros de aminas.	2356.59 cm <sup>-1</sup>	2750 - 2350
C=O y NH <sub>2</sub> en una amida primaria.	1632.45 cm <sup>-1</sup>	1680 - 1620
Ter-butil en hidrocarburos.	1231.33 cm <sup>-1</sup>	1255 - 1240
C-OH en alcoholes secundarios o terciarios	1085.73 cm <sup>-1</sup>	1120 - 1080

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

El análisis IR de la baba de *A. fulica* indicó principalmente la presencia de grupos (-NH<sub>2</sub> y C=O), con lo que se presume de la presencia de amidas primarias, tal como se detalla en bibliografía; ya que varios productos cosméticos (cremas principalmente) como *SNAIL ME* (2018), en su composición (a base de baba de caracol) contiene niacina amida, que es un agente que purifica y da brillo a la piel.

3.5.5. *Espectro IR de la baba de A. fulica luego de la aplicación del extracto de S. sessiliflorum.*



**Gráfico 12-3.** Espectro FT-IR baba de *A. fulica* luego de aplicación del extracto de *S. sessiliflorum*.

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

**Tabla 72-3.** Resultado del espectro IR de la baba de *A. fulica* luego de aplicar el extracto de *S. sessiliflorum*.

Grupo y Clase	Valor obtenido (Wavenumber)	Rango (cm <sup>-1</sup> )
-OH en alcoholes y fenoles.	3330.46 cm <sup>-1</sup>	3420 - 3250
C=O y NH <sub>2</sub> en una amida primaria.	1632.45 cm <sup>-1</sup>	1680 - 1620

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

De acuerdo al análisis preliminar de la baba de *A. fulica* antes de la aplicación del extracto; se puede decir que se produce una deshidratación del caracol, lo que se evidencia con la gran cantidad de líquido (1.5 L aproximadamente) que eliminan los caracoles luego de la aplicación del extracto correspondiente (*ver Figura 10-3.*); esta deshidratación está acompañada de una consecuente eliminación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tal como se describe el proceso de Trasposición de Hofmann (Mary Ann Fox, p. 717, 2000), donde se produce un acortamiento de la cadena de carbono en un átomo y un cambio de grupo funcional, de una amida a una amina.

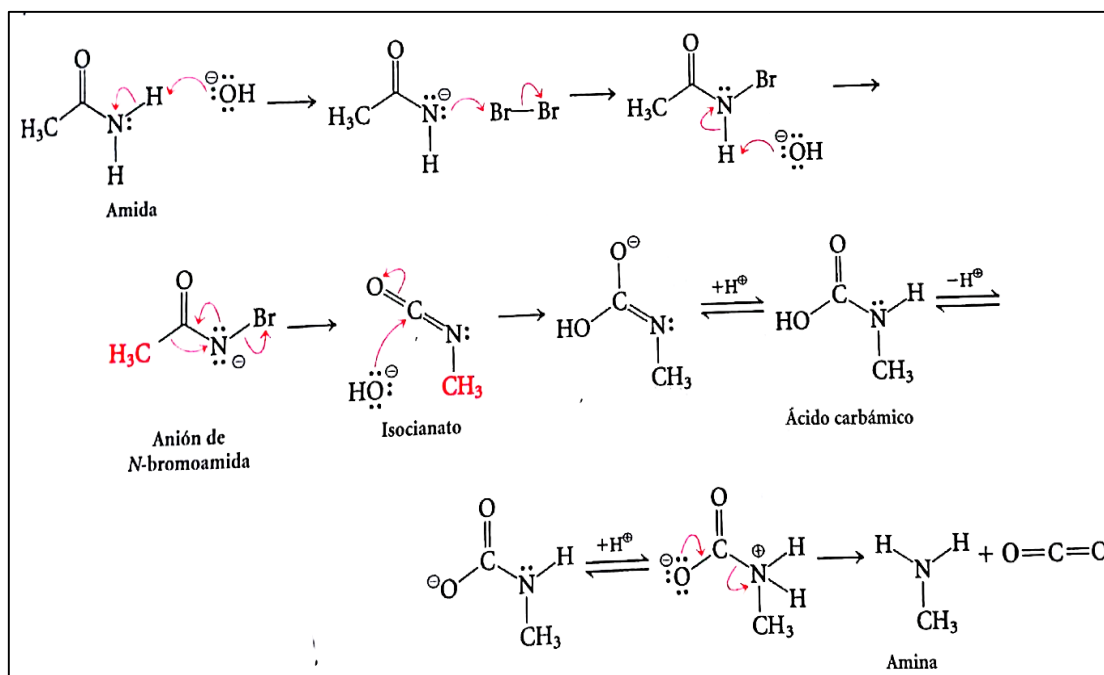




**Fotografía 1-3: Baba post aplicación de extractos.**  
Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

Esto explicaría la presencia en el espectro IR de grupos  $\text{--OH}$  a  $3330.46\text{ cm}^{-1}$  que actuaría en la formación de la amina (cambio de grupo funcional), la pérdida del grupo carbonilo ( $\text{C=O}$ ) que se desprendería en forma de  $\text{CO}_2$  y la presencia del grupo amino ( $\text{NH}_2$ ) a  $1632.45\text{ cm}^{-1}$  que estaría conformando la estructura de la amina primaria formada.

A continuación, se describe el mecanismo de transposición mencionado:



**Figura 2-3: Transposición de Hofmann.**  
Realizado por: Mary Ann Fox, p. 717, 2000.

## CONCLUSIONES

- El extracto de glicoalcaloides de *Solanum sessiliflorum*, una vez fermentado evidencia poca actividad biocida sobre *Achatina fulica*, con una mortalidad del 88,87% y 71,13% a concentraciones al 100% y 10% respectivamente, a las 24 horas aplicando los extractos por atomización.
- Se determinó que mediante atomización se obtiene una mayor facilidad y efectividad para la aplicación del extracto.
- Con la aplicación del extracto fermentado se tiene escasa mortalidad de *A. fulica*, lo que determinó trabajar con el extracto no fermentado de *S. sessiliflorum*.
- El extracto no fermentado de glicoalcaloides de *S. sessiliflorum* sobre *A. fulica* presenta una eficiente capacidad biocida, obteniéndose una mortalidad del 100% y 86,67 % a una concentración del extracto al 100% y 10% respectivamente, lo cual determinó que no existe una diferencia significativa respecto a las concentraciones aplicadas y la eficacia de la actividad biocida obtenida.
- Comparando la actividad biocida con otra especie del mismo género (*Solanum mammosum*), *Solanum sessiliflorum*, de acuerdo al análisis estadístico presenta mayor eficacia aún a menor concentración (10% v/v), con una mortalidad del 88% frente a un 72% por parte de la segunda especie.
- La efectividad del extracto no se ve incrementado al ensayar con la mezcla de los extractos de las dos solanáceas (*S. sessiliflorum* y *S. mammosum*), dado a que se tienen mortalidades de 93,33% y 82,67% aplicando concentraciones de la mezcla al 100% y 10%.
- Los análisis de espectroscopía IR de las muestras señalan que el poder biocida del extracto de *S. sessiliflorum* se le confiere a su contenido de glicoalcaloides (solanina) a  $1375.00\text{ cm}^{-1}$  y compuestos azufrados (sulfonamidas) a  $1157.08\text{ cm}^{-1}$ ; mientras que para *S. mammosum* se indica la presencia de saponinas y mediante bibliografía se conoce sobre su contenido de glicoalcaloides.

- La mortalidad de *A. fulica* por deshidratación se explicó mediante el proceso de transposición de Hofmann que explica el cambio de grupo funcional de amida a amina, ya que el contenido de amidas primarias en la baba del caracol se confirma mediante espectroscopía IR. Además, se obtuvo un volumen de 1,5 L de la baba después de los tratamientos aplicados.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar el extracto de *Solanum sessiliflorum* a una concentración  $\geq 10$  v/v, dados los resultados satisfactorios obtenidos.
- Conociendo la actividad molusquicida de los extractos de *Solanum sessiliflorum* y *Solanum mammosum* sobre *Achatina fulica*, se sugiere realizar análisis más específicos sobre los compuestos fitoquímicos que tienen actividad biocida.
- Ampliar el estudio de la especie *Solanum sessiliflorum*, dadas las novedosas propiedades no estudiadas y su posible aplicación en diferentes campos de investigación.
- Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación principalmente a los agricultores y principales poblaciones afectadas, ya que se propone una nueva alternativa biotecnológica para el control de *A. fulica*, dada la necesidad de evitar su proliferación en cultivos y destrucción de los mismos a su paso, corriendo además el peligro de acarrear enfermedades al manipular estos moluscos sin el respectivo equipo de protección personal.
- Estudiar el látex que emite el extracto de *Solanum sessiliflorum* para posibles aplicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGROCALIDAD.** *Ficha caracol africano* [en línea]. Ecuador: MAGAP, 2011. [Consulta: 26 noviembre 2017]. Disponible en:

<http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/sanidad-vegetal/3-control-fitosanitario/04-gestion-de-manejo-y-control-de-plagas-especificas/d-manejo-caracoles-plaga/4di-ficha-caracol-africano.pdf>

**Ahumada, A. et al.** “Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico”. *Rev. Colomb. Cienc. Farm.*, Vol. 45(3), (2016), (Colombia) pp. 438-460.

**AIST.** *Spectral Database for Organic Compounds SDBS*. [En línea]. Japón. [Consulta: 24 julio 2018]. Disponible en:

[https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct_frame_top.cgi)

**Arcos, P.** *Determinación de la actividad antifúngica de las saponinas de la quinua frente a los agentes causales del Damping off (*fusarium spp.*, *rhizoctonia sp.*, *pythium sp.*)*, 2016 [en línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador, 2017. [Consulta: 20 julio 2018]. Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6676>

**Armstrong, John H. & Putnam, Adam H.** *Preguntas frecuentes sobre el Metaldehído para controlar el Caracol Gigante Africano* [en línea]. Estados Unidos de América, sf. [Consulta: 17 julio 2018]. Disponible en:

<https://www.freshfromflorida.com/content/download/32846/794016/Metaldehyde-QA-Spanish.pdf>

**Avendaño, José M.** “Morfometría del caracol gigante africano *Achatina fulica* (Gastropoda: *Achatinidae*) en Colombia”. *Scielo* (2015), (Colombia) pp. 287-292.

**Botello, A.; Bouchot, G. & Hernández, C.** *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. [en línea]. México, 2005. [Consulta: 02 agosto 2018]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=WwuryOF1jUEC&pg=PA197&lpg=PA197&dq=plantas+que+contienen+sulfas&source=bl&ots=EsoizPYnQv&sig=CyZgEgikpO4HxiE2Y9P4ZPO0ZkA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiT59K8r8zcAhVDtlkKHbinDt8Q6AEwCXoECAAQAQ#v=onepage&q=plantas%20que%20contienen%20sulfas&f=false>

**Carrillo, José C. et al.** *Extractos vegetales para el control de plagas del follaje del tomate (Solanum lycopersicum L.) en Oaxaca, México* [en línea]. México, 2009. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en:

[https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae\\_bullas/verd/sesiones/4%20S1C.%20SANIDAD%20\(I\)/extractos-vegetales-carrillo.pdf](https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/sesiones/4%20S1C.%20SANIDAD%20(I)/extractos-vegetales-carrillo.pdf)

**Celis, A. et al.** “Extractos vegetales utilizados como Biocontroladores con énfasis en la familia *Piperaceae*. Una revisión”. *Scielo* (2008), (Colombia) pp. 97-103.

**CHEMINOVA.** *Ficha de datos de seguridad Babosil Granulado metaldehído 5% (adicionado de colorante) [Gb] P/P* [en línea]. Madrid-España, N°4, 2013. [Consulta: 25 julio 2018]. Disponible en:

<http://www.hcostadealmeria.com/descargas/fichasdeseguridad/CHEMINOVA%20FMC/BABOSIL%20GRANULADO%20MSDS%20CLP.pdf>

**Dewick, Paul M.** *Chimica, Biosintesi e Bioattività delle Sostanze Naturali*. Edizione italiana a cura del Prof. E. FATTORUSSO. Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England. Copyright ©1997 by John Wiley & Sons Ltd., 2001, pp. 220-364.

**DIARIO EL UNIVERSO.** *Comer o manipular los caracoles africanos es peligroso para la salud* [en línea]. Ecuador: GRAN GUAYAQUIL, 2012. [Consulta: 21 mayo 2018]. Disponible en:

<https://www.eluniverso.com/2012/01/21/1/1445/comer-manipular-caracoles-africanos-peligroso-salud.html>

**Fox, Mary A. & Whitesell, James K.** *Química Orgánica*. 2<sup>da</sup> ed. México: S.A. ALHAMBRA MEXICANA, 2000, pp. 132-717.

**Garcés, Mario F.; et al.** “Sustancias alternativas para el control del caracol africano (*Achatina fulica*) en el Valle del Cauca, Colombia”. *Redalyc* [en línea], 2016, (Colombia) Vol. 017, pp. 1-10. [Consulta: 24 mayo 2018]. ISSN 0124-5376. Disponible en:

<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9470>

**GIL.** *Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA: Espectrometría FTIR* [En línea]. España: 2016. [Consulta: 23 julio 2018]. Disponible en:

<http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectrometra-ftir>

**Guerrero.** *ABOUT ESPAÑOL: ¿Qué es un biodigestor?* [En línea]. 2018. [Consulta: 29 julio 2018]. Disponible en:

<https://www.aboutespanol.com/que-es-un-biodigestor-3417683>

**IBM.** Guía del usuario de IBM SPSS Statistics 23 Core System. Estados Unidos, © Copyright IBM Corp. (2014), pp. 12-100.

**INIFAT.** “Molusquicidas naturales de origen botánico”. *Revista Agrotecnia de Cuba* (2008), (La Habana, Cuba), CP 17200, pp. 6-10.

**IPES, FAO & RUAF.** *Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana*. Lima-Perú, 1<sup>ra</sup> ed. FAO (2010), pp. 13-37.

**Liboria, Matinella; et al.** “El caracol gigante africano *Achatina fulica*”. *INIAHOY* (2009), pp. 1-8. [Consulta: 24 mayo 2018]. ISSN 1856-9951. Disponible en:  
[http://200.11.192.207/media/bibliotecas/biblioteca\\_728.pdf](http://200.11.192.207/media/bibliotecas/biblioteca_728.pdf)

**Mejía, Luis F. & Gómez, R.** “Evaluación comparativa del rendimiento en la obtención de alcaloides totales para los frutos verdes y rojos de *Solanum pseudocapsicum* L.” *Scielo, Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(1): 215-222, (2013) Colombia, pp. 1-7. [Consulta: 16 junio 2018]. Disponible en:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a25.pdf>

**Mena.** *BBC: Ecuador busca cómo enfrentarse a una invasión de caracoles* [en línea]. Ecuador, 2012. [Consulta: 20 marzo 2018]. Disponible en:  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/06/120612\\_ecuador\\_invasion\\_caracoles\\_en](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/06/120612_ecuador_invasion_caracoles_en)

**Pacheco, C.** *Efecto del extracto hidroetanólico de higuierilla *Ricinus communis* L. sobre el adulto del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal*. [en línea] (tesis). Yautepec, Morelos – México. 2010. [Consulta: 08 agosto 2018]. Disponible en:  
[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7676/2289\\_tesis\\_Noviembre\\_2010\\_764362968.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7676/2289_tesis_Noviembre_2010_764362968.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Palma.** *Plaga del caracol africano amenaza los toquillales en montañas de Pile* [en línea]. Ecuador: Diario El Universo, 2017. [Consulta: 16 abril 2018]. Disponible en:  
<https://www.eluniverso.com/noticias/2017/12/06/nota/6513625/plaga-caracol-africano-amenaza-toquillales-montanas-pile>

**Pérez.** *Tema N°7: ALCALOIDES: Universidad Central de Venezuela* [en línea]. Venezuela, 2014. [Consulta: 21 febrero 2018]. Disponible en:



<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/7967/1/7.%20ALCALOIDES%202013-2014.pdf>

**Puccio.** *Solanum mammosum* [en línea]. Mónaco: Barrionuevo, sf. [Consulta: 19 julio 2018].

Disponible en:

<http://www.photomazza.com/?Solanum-mammosum&lang=es>

**Rodríguez, A. & Oramas, S.** *BUENAS PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE CARACOLES Y BABOSAS* [en línea]. Santiago de las Vegas, Cuba, 2016. [Consulta: 06 agosto 2018].

Disponible en:

<http://www.ausc.co.cu/index.php/boletin-de-la-agricultura-urbana/category/10-ano-2016?download=91:no-21-2016>

**Rosero, M.** *EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD INSECTICIDA DEL LÁTEX EXTRAÍDO DEL PELA MANOS (Ficus subandina Dugand) ADMINISTRADO EN ALIMENTACIÓN Y POR ASPERSIÓN A HORMIGAS (Lasius niger), MOSCAS DOMÉSTICAS (Musca doméstica) Y CARACOLES (Hélix aspersa)* [en línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador, 2014. [Consulta: 20 julio 2018].

Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3549/1/56T00465%20UDCTFC.pdf>

**Shurvell, H. F.** “Spectra–Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared”. Canadá: Wiley, 2006, pp. 1-34.

**Silva, Javier H.** *El caracol africano invade más de medio Colombia* [en línea]. Colombia, 2013. [Consulta: 21 marzo 2018]. Disponible en:

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12951302>

**Skoog, Douglas A.; Holler, James F. & Nieman, Timothy A.** “PRINCIPIOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL”. 5<sup>ta</sup> ed. España: *McGRAW-HILL* / INTERAMÉRICA DE ESPAÑA, S.A.U., 2001, ISBN: 84-481-2775-7, pp. 322-353.

**Trallero, Diego V. & Emilio P.** “Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica: Tetraciclinas, sulfamidas y metronidazol”. San Sebastián, España. *Elsevier*, pp. 122-130.

**Vélez Terreros, Pamela Yekaterine.** *Aislamiento y caracterización de solanina por Espectroscopía de Infrarrojos en berenjena (Solanum melongena L.)* [en línea] (tesis). (Licenciatura) Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador, 2014. [Consulta: 16 julio 2018]. Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8559/Aislamiento%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20solanina%20por%20Espectroscop%C3%ADa%20de%20Infrarrojos%20en%20berenjena%2028Solanum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Weininger, David C; et al.** “*Achatina fulica* (Bowdich, 1822) un posible problema de salud pública en Venezuela”. *VITAE* (2009), pp. 1-9. [Consulta: 22 marzo 2018]. ISSN 1317-987X. Disponible en:

<http://www.bitacoramedica.com/wp-content/uploads/2013/03/Seccion-7-WEININGER-Achatina-fulica.pdf>

**Wingrove, Alan S. & Caret, Robert L.** *Química Orgánica*. Copyright ©1984 por HARLA S.A. de C. V. Versión autorizada en español. I.S.B.N. 968-6034 36-6, 2011, pp. 1295, 1320-1323.

## ANEXOS

## ANEXO A. PRUEBA DE TUKEY: COMPARACIONES MÚLTIPLES

HSD Tukey						
(I) TRATAMIENTOS		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Sin tratamiento	S. sessiliflorum 100%	-15,00000*	,37796	,000	-16,1990	-13,8010
	S. sessiliflorum 10%	-13,20000*	,37796	,000	-14,3990	-12,0010
	S. mammosum 100%	-13,40000*	,37796	,000	-14,5990	-12,2010
	S. mammosum 10%	-10,80000*	,37796	,000	-11,9990	-9,6010
	Mezcla 100%	-14,00000*	,37796	,000	-15,1990	-12,8010
	Mezcla 10%	-12,40000*	,37796	,000	-13,5990	-11,2010
S. sessiliflorum 100%	Sin tratamiento	15,00000*	,37796	,000	13,8010	16,1990
	S. sessiliflorum 10%	1,80000*	,37796	,001	,6010	2,9990
	S. mammosum 100%	1,60000*	,37796	,004	,4010	2,7990
	S. mammosum 10%	4,20000*	,37796	,000	3,0010	5,3990
	Mezcla 100%	1,00000	,37796	,150	-,1990	2,1990
	Mezcla 10%	2,60000*	,37796	,000	1,4010	3,7990
S. sessiliflorum 10%	Sin tratamiento	13,20000*	,37796	,000	12,0010	14,3990
	S. sessiliflorum 100%	-1,80000*	,37796	,001	-2,9990	-,6010
	S. mammosum 100%	-,20000	,37796	,998	-1,3990	,9990
	S. mammosum 10%	2,40000*	,37796	,000	1,2010	3,5990
	Mezcla 100%	-,80000	,37796	,371	-1,9990	,3990
	Mezcla 10%	,80000	,37796	,371	-,3990	1,9990
S. mammosum 100%	Sin tratamiento	13,40000*	,37796	,000	12,2010	14,5990
	S. sessiliflorum 100%	-1,60000*	,37796	,004	-2,7990	-,4010
	S. sessiliflorum 10%	,20000	,37796	,998	-,9990	1,3990
	S. mammosum 10%	2,60000*	,37796	,000	1,4010	3,7990
	Mezcla 100%	-,60000	,37796	,691	-1,7990	,5990
	Mezcla 10%	1,00000	,37796	,150	-,1990	2,1990
S. mammosum 10%	Sin tratamiento	10,80000*	,37796	,000	9,6010	11,9990
	S. sessiliflorum 100%	-4,20000*	,37796	,000	-5,3990	-3,0010
	S. sessiliflorum 10%	-2,40000*	,37796	,000	-3,5990	-1,2010
	S. mammosum 100%	-2,60000*	,37796	,000	-3,7990	-1,4010
	Mezcla 100%	-3,20000*	,37796	,000	-4,3990	-2,0010
	Mezcla 10%	-1,60000*	,37796	,004	-2,7990	-,4010

<b>Mezcla 100%</b>	<i>Sin tratamiento</i>	14,00000*	,37796	,000	12,8010	15,1990
	<i>S. sessiliflorum</i> 100%	-1,00000	,37796	,150	-2,1990	,1990
	<i>S. sessiliflorum</i> 10%	,80000	,37796	,371	-,3990	1,9990
	<i>S. mammosum</i> 100%	,60000	,37796	,691	-,5990	1,7990
	<i>S. mammosum</i> 10%	3,20000*	,37796	,000	2,0010	4,3990
	<i>Mezcla 10%</i>	1,60000*	,37796	,004	,4010	2,7990
<b>Mezcla 10%</b>	<i>Sin tratamiento</i>	12,40000*	,37796	,000	11,2010	13,5990
	<i>S. sessiliflorum</i> 100%	-2,60000*	,37796	,000	-3,7990	-1,4010
	<i>S. sessiliflorum</i> 10%	-,80000	,37796	,371	-1,9990	,3990
	<i>S. mammosum</i> 100%	-1,00000	,37796	,150	-2,1990	,1990
	<i>S. mammosum</i> 10%	1,60000*	,37796	,004	,4010	2,7990
	<i>Mezcla 100%</i>	-1,60000*	,37796	,004	-2,7990	-,4010

**\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.**

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

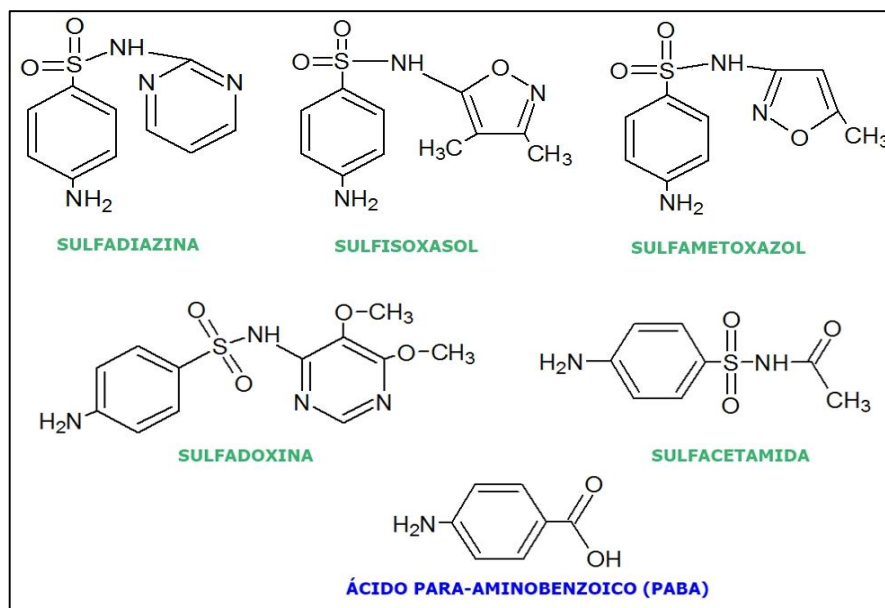
## ANEXO B. GRÁFICO DE RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS DE LABORATORIO REALIZADOS POR EL INIFAT.

Planta	Parte de la Planta	Concentración del Extracto	% de mortalidad			
			<i>P. griseola</i> 24 h. 48 h	<i>S. sagra</i> 48 h.	24 h.	48 h.
<i>A. indica</i>	Semillas	Aceite formulado 1%	60	65	*	*
<i>C. edulis</i>	Rizoma fresco	Acuoso 25%	45	60	*	*
		Alcohólico 25%	5	5	*	*
	Hojas					
<i>J. curcas</i>	Semillas	Alcohólico 50%	90	100	*	*
		Alcohólico 25%	75	100	*	*
		Aceite formulado 50%	80	80	*	*
<i>M. azedarach</i>	Frutos	Aceite formulado 1%	45	45	*	*
<i>N. oleander</i>	Hojas secas	Alcohólico 50%	0	0	*	*
		Alcohólico 25%	0	0	*	*
	Hojas frescas	Acuoso 25%	10	10	*	*
		Acuoso 12.5%	5	5	*	*
<i>S. globiferum</i>	Frutos	Alcohólico 25%	100	*	100	*
		Alcohólico 12.5%	100	*	100	*
		Acuoso 10%	100	*	100	*
		Acuoso 5%	75	*	85	*
<i>S. mammosum</i>	frutos	Alcohólico 25%	100	*	100	*
		Alcohólico 12.5%	100	*	96	100

\* no se hicieron las pruebas

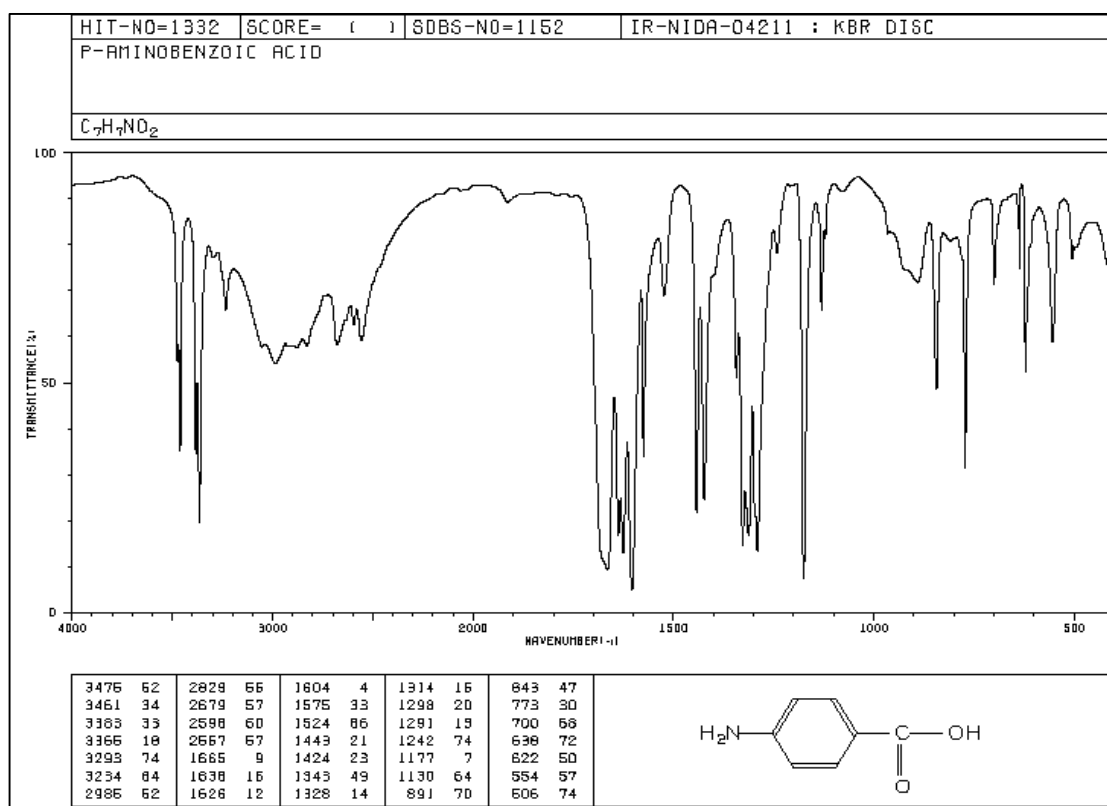
Realizado por: INIFAT, 2008, pp. 14.

## ANEXO C. ESTRUCTURAS DE ALGUNAS SULFONAMIDAS Y ÁCIDO PARA-AMINOBENZOICO.



Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

## ANEXO D. ESPECTRO IR DEL ÁCIDO PARA-AMINOBENZOICO.



Realizado por: Spectral Database for Organic Compounds (SDBS), 2018.

## ANEXO E. BIODIGESTOR CASERO.



Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

## ANEXO F. MANEJO DE *A. fulica*.



1. Recolección de *A. fulica*.

2. Transporte.

3. Período de adaptación.

4. Desarrollo de Epifragma.

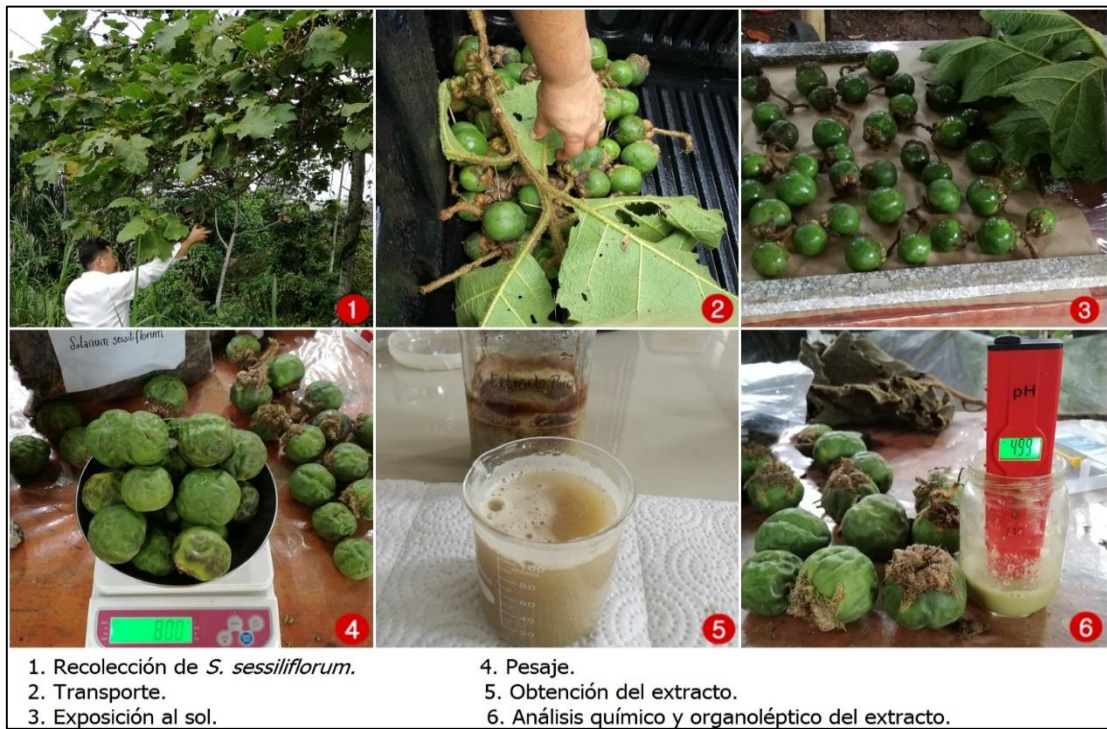
5. Pesaje.

6. Conteo y distribución según Tratamiento a aplicar.

Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

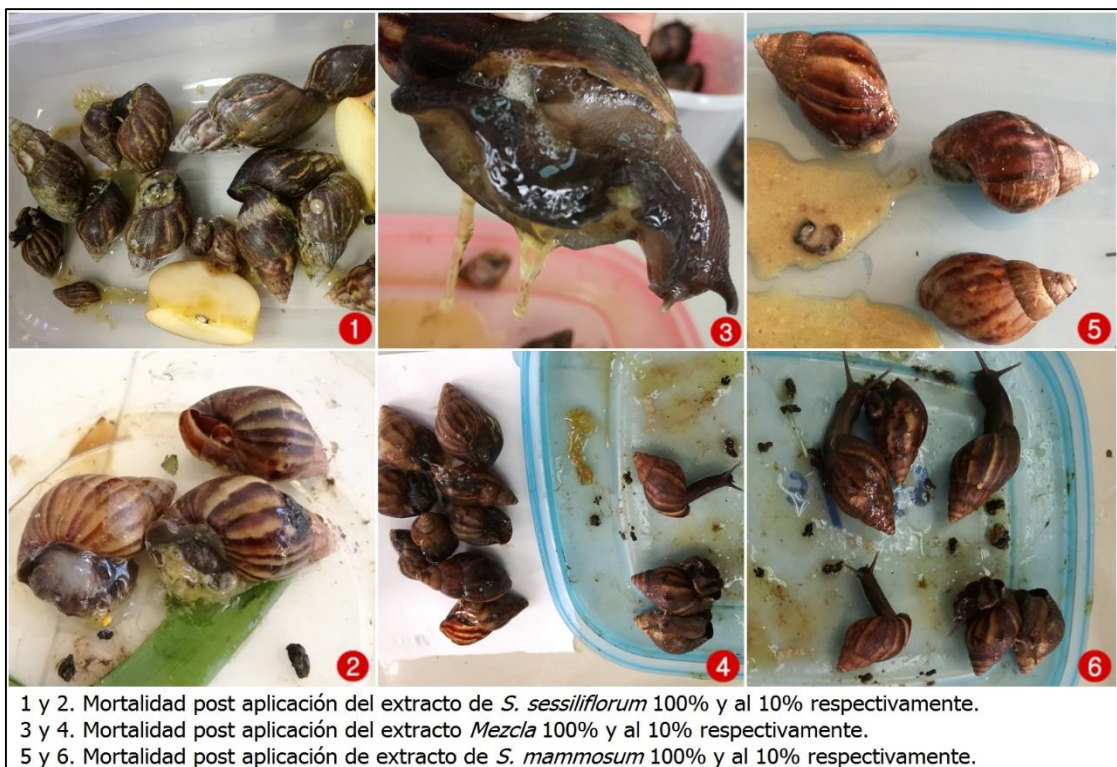


## ANEXO G. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL EXTRACTO DE *S. sessiliflorum*.



Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

## ANEXO H. MORTALIDAD DE *A. fulica* POST APLICACIÓN DE LOS EXTRACTOS.



Realizado por: Rodney Reinoso, 2018

**ANEXO I. LÁTEX OBTENIDO DEL EXTRACTO DE *S. sessiliflorum*.**



**Realizado por:** Rodney Reinoso, 2018